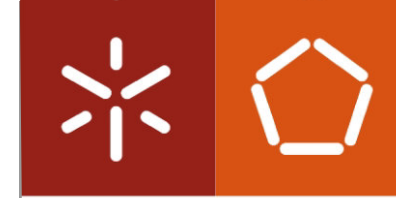




Estudo da processabilidade e caracterização de peças moldadas por Reaction Injection Molding de Poliuretano

Leo Penas Ferreira

Uminho | 2013

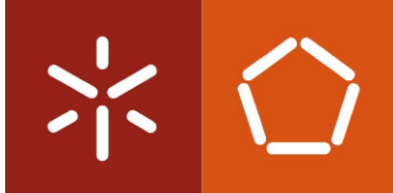


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Leo Penas Ferreira

Estudo da processabilidade e caracterização de peças moldadas por Reaction Injection Molding de Poliuretano

Outubro de 2013



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Leo Penas Ferreira

**Estudo da processabilidade e caracterização
de peças moldadas por Reaction Injection
Molding de Poliuretano**

Dissertação de Mestrado
Mestrado integrado em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Antonio Pontes
e do
Professor Doutor Artur Mateus

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS
DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE
COMPROMETE;

Universidade do Minho, ____/____/____

Assinatura: _____

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado não só por mim, mas por todos os que me apoiaram, ajudaram, animaram e fizeram com que nunca desistisse de algo que parecia quase impossível. Desejaria assim deixar aqui o meu agradecimento:

À minha família e namorada, por tudo o que me deram e continuam a dar, sem eles não poderia nunca chegar até aqui. Obrigado por todo o apoio.

Ao Professor Doutor António Pontes, por todo o apoio, conselhos, ajuda, disponibilidade, empenho, que fez com que conseguisse concluir esta dissertação. Muito Obrigado Professor.

Ao Professor Doutor Artur Mateus, pela sua colaboração neste trabalho.

Ao Cyril dos Santos do IPL Leiria, por toda a ajuda e sugestões em relação ao estudo.

A todos os docentes do Departamento de Engenharia de Polímeros, que com os seus conhecimentos me ajudaram de uma forma ou de outra a realizar esta tese.

Aos meus colegas e amigos de curso, que durante estes cinco anos foram meus companheiros neste curso. A todos o meu sincero e amigo Obrigado.

Por fim, ao projecto BigProto e à adi – Agência de Inovação, pelo apoio financeiro.

Resumo

O uso de materiais poliméricos para fabrico de moldes de grandes dimensões e/ou pequenas séries é um tema que tem dado preocupações dentro do meio académico e industrial. Por outro lado, o processo de RIM é inovador, não havendo grande informação relativamente ao modo como se processa o enchimento do molde, como progride a reacção química e quais as pressões e temperaturas que se irão gerar no processo. As funções de abertura e fecho do molde têm que ser devidamente pensadas de modo a agilizar tanto quanto possível essas operações garantindo, simultaneamente, que o molde não seja danificado e que as peças não apresentem empenos indesejáveis resultantes de deformações do molde ou marcas resultantes de um incorrecto posicionamento das partes móveis.

Esta dissertação tem como principal objectivo desenvolver o know-how necessário à injeção a baixa pressão de Poliuretanos (RIM de Poliuretano), o que possibilita o fabrico de protótipos e pequenas séries de peças de dimensões muito grandes, com um desempenho em serviço melhorado e de mais baixo custo, que se traduzirá numa diferenciação positiva no mercado internacional.

No projecto em questão serão utilizados meios disponíveis no Departamento de Engenharia de Polímeros e no Centro para o Desenvolvimento Rápido e Sustentado do Produto do Instituto Politécnico de Leiria (equipamento de RIM, equipamento para ensaios mecânicos (tração e impacto)).

Abstract

The use of polymeric materials for the manufacture of large moulds and / or small series is a topic that has been concern within the academia and industry. Moreover, the RIM process is novel and there is no great information regarding the way up the mould filling process , as the chemical reaction proceeds and what temperatures and pressures it will generate in the process. The functions of opening and closing the mould must be properly designed in order to expedite these operations as much as possible while ensuring the mould is not damaged and that the parts do not exhibit undesirable warping deformations resulting from the mould or marks resulting an incorrect positioning of the moving parts .

This work has as main objective to develop the know - how for the low pressure injection Polyurethane (Polyurethane RIM) , which enables the manufacture of prototypes and small series of pieces of very large dimensions , with a performance in improved service and more low cost, which will translate into positive differentiation in the international market .

In the project in question will be used means available at the Department of Polymer Engineering and Center for Fast and Sustained Development Product of the Polytechnic Institute of Leiria (RIM equipment , equipment for mechanical tests (tensile and impact)) .

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract.....	v
Índice	vii
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas	xiv
Capítulo 1: Introdução e Objetivos	1
1.1.Introdução	1
1.2.Objectivos	2
Capítulo 2: Estado da Arte	3
2.1. Processo de Rim.....	3
2.1.1. Materiais e propriedades	4
2.1.2.Polimerização	5
2.1.3.Moldes.....	6
2.1.4.Equipamentos	7
2.1.5.Produtos Tipo	7
Capítulo 3: Equipamento e Ferramentas	9
3.1. Equipamentos.....	9
3.2. Peça estudo laboratorial	10
3.3. Molde peça laboratorial	10
3.4. Estudo de uma peça industrial	15
Capítulo 4: Métodos Experimentais.....	17
4.1. Materiais das Moldações.....	17
4.1.Condições de Processamento	17
4.2.Processamento	17
4.3. Caracterização das Moldações.....	19

4.3.1. Ensaio de Tração.....	19
4.3.2. Ensaio de Impacto.....	20
4.3.3. Controlo dimensional das moldações e dos moldes.....	21
4.4. Simulações.....	22
Capítulo 5: Resultados e Discussão	25
5.1. Equipamento	25
5.2. Material.....	25
5.3. Moldes	25
5.4. Peças	26
5.5. Caracterização das Moldações.....	27
5.5.1 Ensaio Mecânicos	27
5.5.1.2 Tração.....	27
5.5.1. 2 Impacto.....	29
5.5.1.3 Controlo dimensional das moldações e dos moldes.....	30
5.6. Simulações.....	31
5.6.1. Efeito do aumento da temperatura do molde na peça laboratorial	31
5.6.2. Efeito do aumento da temperatura dos reagentes na peça laboratorial.....	32
5.6.3. Simulações das propriedades mecânicas na peça laboratorial	34
5.6.4. Efeito do aumento da temperatura do molde na peça industrial	36
5.6.5. Efeito do aumento da temperatura dos reagentes na peça industrial.....	38
5.6.6. Simulações das propriedades mecânicas na peça industrial.....	40
5.7. Comparação das propriedades obtidas por RIM Poliuretano e Moldação por injeção. .	43
Capítulo 6: Conclusões	47
Capítulo 7: Trabalho a realizar no futuro	49
Bibliografia	51
ANEXOS.....	53
Anexo 1 – Dimensões da Peça.....	i
Anexo 2 – Fichas técnicas do material das Moldações.....	ii

Biresin® RG54 Neu.....	ii
Anexo 4 – Resultados das simulações do moldflow peça laboratorial	vii
Anexo 5 – Resultados das simulações do moldflow peça industrial.....	xv

Índice de Figuras

Figura 1 – Máquina típica de RIM. [4]	4
Figura 2- Reacção de formação do poliuretano[5].....	5
Figura 3- Dekumed gmbh-Unidos 100 (http://www.dekumed.de/U100e.html)	9
Figura 4- Cabeça de mistura de alta pressão	9
Figura 5- Peça para estudo laboratorial.....	10
Figura 6- Molde utilizado no projeto	10
Figura 7- Funcionamento do molde, para cabeça de injeção vertical e horizontal.....	11
Figura 8- Molde utilizado no projecto.....	11
Figura 9- Molde de alumínio.....	12
Figura 10- Molde de Zamak.....	13
Figura 11- Desenho 3D da bucha da peça com ribs	14
Figura 12- Desenho 3D da cavidade das duas peças.....	14
Figura 13- Peça caso industrial	15
Figura 14- Cana misturadora.....	18
Figura 15-Processamento das peças em poliuretano.....	19
Figura 16-Dimensões do provete de tração, espessura do provete de tração	19
Figura 17- Dimensões do provete de impacto, espessura do provete de impacto.....	20
Figura 18-Corte dos provetes para ensaios mecânicos.....	20
Figura 19- Localização dos pontos seleccionados na peça.	21
Figura 20- Localização dos pontos seleccionados na cavidade e na bucha.....	21
Figura 21- Molde de alumínio e Zamak revestido com silicone nos ribs	26

Figura 22-(Esquerda) Peça do Molde Zamak revestido; (Direita) Peça do Molde Alumínio revestido	26
Figura 23- Gráfico do Módulo de Elasticidade nas várias condições.	27
Figura 24- Gráfico da Tensão de Cedência nas várias condições.	28
Figura 25- Gráfico da Deformação de Cedência nas várias condições.	28
Figura 26- Gráfico de Impacto nas várias condições.	29
Figura 27- Gráfico com valores das contações	30
Figura 28- Simulação 1 da peça laboratorial onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 350 segundos.....	31
Figura 29- Simulação 1 da peça laboratorial onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	31
Figura 30- Simulação 2 da peça laboratorial onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 350 segundos.....	32
Figura 31- Simulação 2 da peça laboratorial onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	32
Figura 32- Simulação 3 da peça laboratorial onde a temperatura dos reagentes é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	33
Figura 33- Simulação 7 da peça laboratorial onde a temperatura dos reagentes é 50°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	33
Figura 34- Força de fecho na simulação 1 da peça laboratorial.....	33
Figura 35- Viscosidades na simulação 1 da peça laboratorial.....	34
Figura 36- deformação equivalente.....	35
Figura 37- Intensidade da deformação	35
Figura 38- Tensão equivalente	35
Figura 39- Tensão normal	36
Figura 40- Simulação 1 da peça industrial onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 350 segundos.....	37
Figura 41- Simulação 1 da peça industrial onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	37

Figura 42- Simulação 2 da peça industrial onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 350 segundos.....	38
Figura 43- Simulação 2 da peça industrial onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	38
Figura 44- Simulação 3 da peça industrial onde a temperatura dos reagentes é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	39
Figura 45- Simulação 7 da peça industrial onde a temperatura dos reagentes é 50°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	39
Figura 46- Força de fecho na simulação 1 da peça industrial	39
Figura 47- Viscosidades na simulação 1 da peça industrial	40
Figura 48-Tempo de enchimento da peça industrial	40
Figura 49- Deformação equivalente.....	41
Figura 50- Intensidade da deformação	41
Figura 51- Tensão equivalente	42
Figura 52- Tensão normal	42
Figura 53- Factor de segurança	42
Figura 54-Peça com 2 ribs.....	i
Figura 55- Propriedades reológicas do Poliuretano	iv
Figura 56-Propriedades da reação cinética do poliuretano.....	iv
Figura 57-Propriedades de recomendadas do processamento de poliuretano	v
Figura 58- Propriedades térmicas do poliuretano.....	v
Figura 59- Densidade e propriedades mecânicas do poliuretano utilizada no ansys.....	vi
Figura 60- Simulação 1 onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	vii
Figura 61- Força de fecho na simulação 1	vii
Figura 62- Viscosidades na simulação 1	vii
Figura 63- Simulação 2 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	viii
Figura 64- Força de fecho na simulação 2	viii

Figura 65- Viscosidades na simulação 2	viii
Figura 66- Simulação 3 onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	ix
Figura 67- Força de fecho na simulação 3	ix
Figura 68- Viscosidades na simulação 3	ix
Figura 69- Simulação 4 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	x
Figura 70- Força de fecho na simulação 4	x
Figura 71- Viscosidades na simulação 4.....	x
Figura 72- Simulação 5 onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	xi
Figura 73- Força de fecho na simulação 5	xi
Figura 74- Viscosidades na simulação 5	xi
Figura 75- Simulação 6 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	xii
Figura 76- Força de fecho na simulação 6	xii
Figura 77- Viscosidades na simulação 6.....	xii
Figura 78- Simulação 7 onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	xiii
Figura 79- Força de fecho na simulação 7	xiii
Figura 80- Viscosidades na simulação 7.....	xiii
Figura 81- Simulação 8 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	xiv
Figura 82- Força de fecho na simulação 8	xiv
Figura 83- Viscosidades na simulação 8	xiv
Figura 84- Simulação 1 onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	xv
Figura 85- Força de fecho na simulação 1	xv
Figura 86- Viscosidades na simulação 1	xv

Figura 87- Simulação 2 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	xvi
Figura 88- Força de fecho na simulação 2	xvi
Figura 89- Viscosidades na simulação 2.....	xvi
Figura 90- Simulação 3 onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	xvii
Figura 91- Força de fecho na simulação 3	xvii
Figura 92- Viscosidades na simulação 3	xvii
Figura 93- Simulação 4 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	xviii
Figura 94- Força de fecho na simulação 4	xviii
Figura 95- Viscosidades na simulação 4	xviii
Figura 96- Simulação4 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	xix
Figura 97- Força de fecho na simulação 4	xix
Figura 98- Viscosidades na simulação 4.....	xix
Figura 99- Simulação 5 onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	xx
Figura 100- Força de fecho na simulação 5	xx
Figura 101- Viscosidades na simulação 5	xx
Figura 102- Simulação 6 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	xxi
Figura 103- Força de fecho na simulação 6	xxi
Figura 104- Viscosidades na simulação 6	xxi
Figura 105- Simulação 7 onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	xxii
Figura 106- Força de fecho na simulação 7	xxii
Figura 107- Viscosidades na simulação 7	xxii
Figura 108- Simulação 8 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos.....	xxiii

Figura 109- Força de fecho na simulação 8	xxiii
Figura 110- Viscosidades na simulação 8	xxiii

Índice de Tabelas

Tabela 1– Tecnologias e materiais de fabrico dos postigos.	11
Tabela 2-Propriedades físicas do alumínio	12
Tabela 3- Propriedades físicas do Zamak.....	13
Tabela 4- Condições de processamento para as simulações da peça laboratorial	22
Tabela 5- Condições de processamento para as simulações da peça industrial	23
Tabela 6-Condições de processamento do Poliuretano	25
Tabela 7-Dimensões da bucha e cavidade.....	30
Tabela 8- Classificação da matriz	43
Tabela 9- Matriz de avaliação relativamente ao Poliuretano	43

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

Neste capítulo será apresentado uma pequena introdução e os objectivos do trabalho realizado. Neste trabalho pretende-se estudar a técnica de RIM (Reaction Injetion Molding) de poliuretano, utilizando moldes de diferentes materiais e comparar com a injeção convencional.

1.1.Introdução

Actualmente o mercado é regido pelo consumidor e pela sua vontade em comprar produtos originais, esteticamente belos e únicos. A personalização dos produtos é um mercado emergente, e a indústria dos plásticos é um exemplo disso. As próprias empresas estão constantemente a inovar e a criar novos produtos para suplantar estas necessidades do mercado, e competirem entre si.

Isto induz um desenvolvimento rápido do produto e na redução do tempo de resposta ao mercado, o que na área dos plásticos é um problema, devido à necessidade de desenvolver ferramentas caras e complexas. É neste contexto que entram diversas técnicas de processamento de plástico (que não são utilizadas para produção em massa), a prototipagem rápida e o fabrico rápido de ferramentas, para diminuir o tempo de desenvolvimento do produto e reduzirem custos do mesmo [1].

Neste trabalho pretende-se estudar a técnica de RIM (Reaction Injetion Molding) de poliuretano, utilizando moldes de diferentes materiais e comparar com a injeção convencional, sendo esta técnica muito utilizada no sector automóvel.

O processo de RIM foi desenvolvido somente para Poliuretanos, vindo mesmo a tornar-se a forma mais economicamente viável de produzir peças de grandes dimensões, iniciando-se a sua produção industrial em 1974 [1][2]. Apesar da exclusividade dos Poliuretanos para a injeção reactiva, em 1983 iniciou-se a utilização e produção de peças em Nylon 6.[1]

Os Poliuretanos são partes essenciais na vida moderna, sendo usados como materiais de isolamento em construções ou em electrodomésticos, oferecendo também benefícios ambientais, uma vez que permitem economizar o gasto de energia, como por exemplo a redução da quantidade de combustível necessária para aquecer ou arrefecer o interior das habitações[4]. Os Poliuretanos são os materiais que mais se utilizam na indústria automóvel, ultrapassando qualquer um dos outros materiais poliméricos.

1.2.Objectivos

O principal objectivo desta dissertação é o estudo da processibilidade e caracterização de peças moldadas por RIM de Poliuretano. Será realizado um estudo da processabilidade do material, avaliando a especificidade do processo assim como a qualidade dos componentes obtidos.

Desta forma, o trabalho a desenvolver deve permitir uma caracterização detalhada do material, processo e consequentemente a sua comparação e gamas de aplicação.

Este estudo tem como objectivos específicos:

- I. Compreender o funcionamento da técnica de RIM de Poliuretano, desde a formulação das matérias-primas até à obtenção de produtos;
- II. Injecção por RIM de Poliuretano, de peças em moldes de diferentes materiais e diferentes variáveis de processamento;
- III. Avaliação das propriedades mecânicas e contracção das peças obtidas;
- IV. Comparação das técnicas de Moldação por Injecção e RIM, de Poliuretano, ao nível das propriedades mecânicas das peças obtidas;
- V. Análise da viabilidade da técnica de RIM de Poliuretano para pequenas séries de peças de grandes dimensões e comparação com simulações a nível de processamento e caracterização mecânica, utilizando o Ansys® e Moldflow®.

No Capítulo 1 será apresentado uma pequena introdução e os objectivos do trabalho realizado. Neste trabalho pretende-se estudar a técnica de RIM (Reaction Injetion Molding) de poliuretano. No capítulo 2 será apresentado o estado da arte do trabalho realizado. Os Poliuretanos são formados a partir da reacção de um poliol e um isocianato polimérico, formando o poliuretano. No capítulo 3 serão apresentados os equipamentos utilizados no processo de RIM, serão descritos os moldes, os materiais dos blocos moldantes, as peças a produzir e equipamentos. No capítulo 4 são apresentados os procedimentos experimentais realizados nesta dissertação. Irá ser apresentado o material para as peças, as condições de processamento, o processamento e os testes realizados para a caracterização das moldações, nomeadamente ensaios mecânicos. No capítulo 5 serão apresentados os resultados e a sua respectiva discussão. São apresentados os resultados dos equipamentos de RIM e das peças obtidas. Será também discutido o processamento do material utilizado, os ensaios realizados, e por fim a comparação das simulações com os resultados experimentais. No Capítulo 6 apresenta-se as conclusões e no capítulo 7 os trabalhos que puderam ser realizados no futuro

CAPÍTULO 2: ESTADO DA ARTE

Neste capítulo será apresentado o estado da arte do trabalho realizado. Os Poliuretanos são formados a partir da reacção de um poliol e um isocianato polimérico na presença de catalisadores e aditivos, formando o poliuretano.

2.1. Processo de Rim

A técnica de moldação por injeção reactiva (RIM – Reaction Injection Molding) foi desenvolvida pela Bayer AG, surgindo a sua primeira aplicação em 1966 por Wirtz [1]. Pahl e Schlüter em 1971 descreveram o primeiro equipamento de RIM com uma cabeça de mistura recicladora [1]. O processo de RIM foi desenvolvido somente para Poliuretanos, vindo mesmo a tornar-se a forma economicamente mais viável de produzir peças de grandes dimensões, sendo que em 1974 iniciou-se a sua produção industrial [1][2].

Apesar da exclusividade dos Poliuretanos para a injeção reactiva, em 1983 iniciou-se a utilização e produção de peças em Nylon 6.[1]

RIM é um processo utilizado para processar materiais termoendurecíveis, onde duas substâncias químicas no estado líquido se misturam e são de imediato injectadas num molde. A obtenção de peças em RIM ocorre a uma baixa pressão, baixa temperatura e baixa viscosidade, resultando em peças plásticas relativamente complexas, de grande dimensão e de baixo custo.[3] Contrariamente à injeção convencional, em que o polímero é injectado no molde e solidifica quando arrefece, no processo de RIM ocorre a polimerização de dois ou mais componentes líquidos no interior do molde, antes de se iniciar o seu arrefecimento. [1][2]

A Figura 1 ilustra uma máquina típica de RIM. Os reagentes líquidos são mantidos em reservatórios separados com agitadores a uma temperatura controlada. Continuamente, os componentes fluem para uma cabeça de mistura, sendo previamente doseados de forma a garantir que as quantidades dos reagentes estão estequiometricamente corretas. Quando se abrem as válvulas da cabeça, os componentes são injectados numa câmara de mistura, sob altas pressões. Na câmara, os fluidos colidem e misturam-se a altas velocidades, sendo injectados no molde a baixas pressões, iniciando-se a polimerização logo que entram na cavidade. Após a cura, a peça é extraída. [1-3]

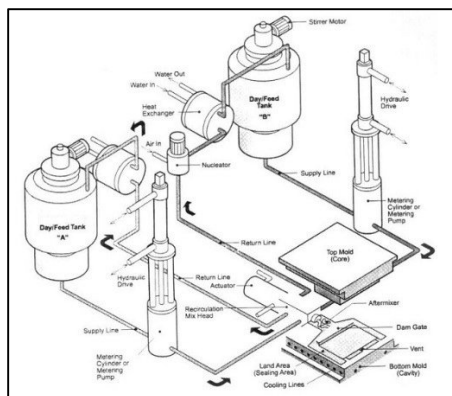


Figura 1 – Máquina típica de RIM. [4]

No processo de RIM para Poliuretanos são utilizados dois reagentes líquidos que são mantidos separadamente em tanques providos de agitadores, a temperaturas controladas. Na maior parte das vezes, os componentes utilizados para a formação dos Poliuretanos são processados à temperatura ambiente (aproximadamente 18° C). Dos tanques, o poliol e o isocianato são encaminhados para uma cabeça de mistura. Quando se inicia a injeção as válvulas da cabeça de mistura abrem e os componentes passam para uma câmara de mistura, com pressões na ordem dos 100 a 200 bar, onde ocorre uma mistura intensa através da indução de altas velocidades. Na câmara de mistura o fluxo é injectado no molde a pressões próximas da pressão atmosférica e inicia-se a reacção exotérmica da mistura e consequente cura do material, dando origem a Poliuretano sólido. O ciclo de produção para a obtenção de peças em Poliuretanos depende essencialmente da duração do tempo de cura do material, sendo que o processo de cura representa cerca de 60% do ciclo de produção. O tempo de ciclo de produção é relativamente curto e depende essencialmente do tamanho, da complexidade da peça em questão e do sistema de Poliuretanos utilizado. No molde o enchimento é muito rápido, podendo em alguns casos desmoldar a peça ao fim de 60s. No caso de peças de maiores dimensões é necessário adoptar soluções que impeçam a cura do material antes do molde estar completamente preenchido.[3]

2.1.1. Materiais e propriedades

Os Poliuretanos são formados a partir da reacção de um poliol (um álcool com mais de dois grupos reactivos por molécula) com um di-isocianatos ou um isocianato polimérico na presença de catalisadores e aditivos. Após a reacção ocorre um processo de cura e aumento do entrelaçamento das cadeias poliméricas do Poliuretano[11]. Devido à variedade de isocianatos e à vasta gama de poliois, é possível obter um largo espectro de materiais que podem ser produzidos para satisfazer as necessidades de aplicações específicas. [12]

Para haja sucesso na obtenção de produtos em Poliuretano com boas propriedades é necessário fazer-se uma adequada selecção da formulação e escolha dos parâmetros de processamento, assim como da geometria da peça e desenho do molde[13]. A principal diferença entre a produção dos Poliuretanos e os restantes materiais plásticos é que a polimerização é feita pelo utilizador e não pelo fabricante. Isto é possível pois a maioria dos Poliuretanos são produzidos usando máquinas com processos recativos. [11]

Muitas vezes os Poliuretanos obtidos em RIM são granulados e introduzidos em forma de cargas em novas moldações. Estas incorporações permitem um aumento das propriedades mecânicas, nomeadamente um aumento da força de impacto. Geralmente, os Poliuretanos oferecem propriedades vantajosas ao nível do desempenho, facilidade de processamento, resistência à humidade e a condições atmosféricas, boa resistência a óleos, solventes orgânicos, ácidos e alcalinos, e no caso de Poliuretanos não aromáticos são também resistentes à oxidação. No entanto, existem dois grandes factores que inibem a aplicação dos Poliuretanos e sendo eles a limitada estabilidade a temperaturas superiores a 90°C e a sua elevada flamabilidade, principalmente nas espumas [14]. Os Poliuretanos obtidos em RIM, depois de curados, não podem ser aquecidos nem moldados. A qualidade das peças obtidas em RIM deve-se essencialmente às quantidades de reagentes utilizados na reacção (estequiometria), aditivos usados e temperaturas do processo [15].

2.1.2.Polimerização

O Poliuretano é obtido a partir de uma reacção química quase instantânea, pela poliadição de um poli-isocianato e um polioliol ou outros reagentes, com dois ou mais grupos de hidrogénio reactivo. Os compostos contendo hidroxilas podem variar quanto ao peso molecular, natureza química e funcionalidade. Os isocianatos podem ser aromáticos, alifáticos, ciclo-alifáticos ou policíclicos. Esta flexibilidade de escolha de reagentes permite obter uma infinita variedade de compostos com diferentes propriedades físicas e químicas, de acordo com as necessidades específicas de uma determinada aplicação. [5][6]

Assim sendo, a reacção de obtenção de poliuretano é dada por:

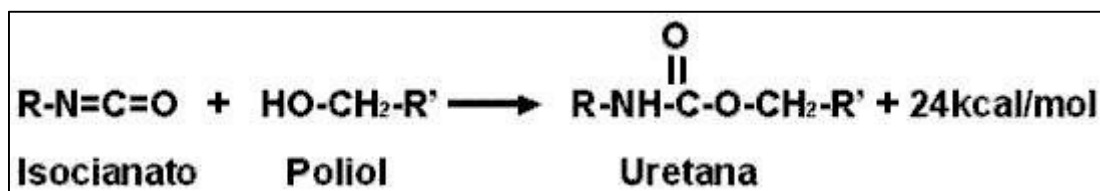


Figura 2- Reacção de formação do poliuretano[5]

Os Poliuretanos são caracterizados por uma estrutura segmentada (blocos poliméricos), compostos por duas fases distintas, blocos flexíveis longos (1000-2000nm) unidos por blocos de segmentos rígidos mais curtos (150nm). O efeito dos segmentos flexíveis na estrutura molecular do pré-polímero na fase de separação de fase é altamente significativo na morfologia e propriedades dos copolímeros.

Durante a polimerização do Poliuretano (PU) em RIM ocorrem variações significativas na massa molecular. Estas variações devem-se a alterações das percentagens dos segmentos flexíveis e rígidos. Ambos possuem um efeito significativo durante o desenvolvimento da estrutura. O sistema PU – RIM exhibe uma gama extensiva relativamente ao comportamento mecânico, resultante da variação estrutural destes materiais, nomeadamente, devido às diferentes percentagens de segmentos rígidos, da massa molecular do copolímero e do grau da fase de separação. Um decréscimo do grau de separação de fase, que resulta do aumento dos segmentos flexíveis, implica uma diminuição das propriedades à tração. Também as propriedades à fractura melhoram significativamente ao aumentar a percentagem de segmentos rígidos. [9]

Em geral, uma maior concentração de segmentos flexíveis implica um abaixamento no valor do módulo, tensão, dureza e tensão de corte, contrariamente à deformação que sofre um aumento. Relativamente aos domínios dos segmentos rígidos, estes têm também um efeito sobre o módulo, a dureza e tensão de corte, permitindo ainda um aumento da resistência à compressão. [17]

2.1.3.Moldes

A selecção do material mais adequado para uma determinada produção depende de vários factores, designadamente do número de peças a produzir, qualidade superficial pretendida, tempo de produção do molde, dimensões, forma e tolerâncias da peça, número de cavidades do molde, tempo de ciclo e qualidade final das peças. A baixa pressão que se regista no processo RIM torna possível a utilização de moldes com uma estrutura menos rígida e materiais estruturalmente mais aligeirados.

Os moldes podem ser feitos de vários materiais, tais como:

Silicone – Séries pequenas (25 peças para resinas de poliuretano, acrílicas ou epoxídicas), baixo custo, rapidez de execução, peças sem grandes detalhes, reproduzindo facilmente saídas negativas.

Resinas – Séries pequenas (2000 peças para termoplásticos), obtêm-se peças com um bom detalhe e muito baratas. No entanto são frágeis e não suportam temperaturas elevadas;

Alumínio – Para séries maiores e peças com boa estabilidade dimensional.

Aço – Utilizado quando se pretendem grandes cadências de produção.

As técnicas de fabrico dependem do custo e dos materiais dos moldes. Os materiais mais utilizados para esta técnica são resinas epóxicas e os silicões [2]

2.1.4.Equipamentos

Os equipamentos das máquinas de RIM são baseados em: sistema de condicionamento do material; sistema de dosagem de alta pressão; cabeça de mistura e suporte do molde. [1][4][10]

Condicionamento do material – tem de garantir que ocorra a alimentação do material para os doseadores. Os tanques devem ser providos de agitadores para manterem os reagentes a uma temperatura homogénea.

Sistema de dosagem – conduz o material dos tanques para a cabeça de mistura, à temperatura e pressão desejada. A rápida abertura e fecho das válvulas do doseador criam gradientes de pressão que devem ser controlados. Existem dois tipos de doseadores: bombas de alta pressão axial ou radial. Estes funcionam em dois modos: recirculação do material a baixa pressão e entrega do material a alta pressão.

Cabeça de mistura – possui uma câmara de mistura cilíndrica onde os reagentes entram a alta velocidade, desenvolvendo uma turbulência para misturar rapidamente. Contém um pistão de limpeza do cilindro, que após a injeção avança limpando os restos de material da câmara de mistura, evitando a cura do plástico nesta zona.

Suporte do molde – fixa correctamente o molde e fornece uma força de fecho suficiente para garantir o fecho do molde. Abre e fecha o molde, posicionando-o numa posição acessível para desmoldar e limpar. [2][4]

Uma das empresas mais conceituadas no fabrico de máquinas para RIM de Poliuretanos é a GUSMER DECKER que fornece não só máquinas para RIM de PU, mas também os componentes individualizados, cabeças de mistura, doseadores e reservatórios. Os tamanhos das máquinas e das cabeças dependem das quantidades e do tipo de PU que se pretendem produzir, do número de componente e das pressões necessárias. [2][22]

2.1.5.Produtos Tipo

Os Poliuretanos são partes essenciais na vida Moderna. Mais de três quartos do consumo global de Poliuretano é na forma de espumas. Estas podem ser de dois tipos, flexível e rígido, sendo eles grosseiramente iguais quanto ao tamanho de mercado, são usados como materiais de isolamento em construções ou em electrodomésticos. Estes oferecem também benefícios ambientais, uma vez que permitem economizar o gasto de energia, por exemplo reduzindo a

quantidade de combustível necessário para aquecer ou arrefecer o interior das habitações [19][20].

Os Poliuretanos são os mais materiais que mais se utilizam na indústria automóvel, ultrapassando qualquer um dos outros materiais poliméricos.

A seguinte lista mostra alguns dos mercados onde Poliuretano tem sido usado com sucesso: [15]

- Habitações: isolamento, Móveis, Colchões;
- Revestimento: Verniz, Cola;
- Automóvel: Pneus, Assentos de automóveis;
- Indústria do calçado: Solas dos sapatos;
- Aplicações industriais: Peças Técnicas.

CAPÍTULO 3: EQUIPAMENTO E FERRAMENTAS

Neste capítulo serão apresentados os equipamentos utilizados no processo de RIM. Os equipamentos obedecem aos princípios básicos dos equipamentos de RIM. Relativamente às ferramentas serão descritos os moldes, os materiais dos blocos moldantes e as peças a produzir.

3.1. Equipamentos

Os equipamentos laboratoriais são compostos essencialmente por 2 sistemas: sistema de dosagem e cabeça de mistura de alta pressão. O equipamento de RIM de Poliuretano é um equipamento dekumed gmbh-Unidos 100.



Figura 3- Dekumed gmbh-Unidos 100 (<http://www.dekumed.de/U100e.html>)

O equipamento utilizado no RIM de Poliuretano é composto essencialmente por:

- Um depósito A, onde é colocado o polioli;
- Um depósito B, onde é colocado o isocianato;
- Uma cabeça de mistura de alta pressão (Figura 4).



Figura 4- Cabeça de mistura de alta pressão

3.2. Peça estudo laboratorial

A peça utilizada neste trabalho (Figura 5) foi proposta pelo CDRSP no âmbito do projecto BigProto, sendo o caso de estudos laboratoriais deste projecto. Esta é composta por uma base quadrada de 100×100 mm sendo arredondada nos cantos e com 4 mm de espessura, O desenho 2D das peças encontra-se no ANEXO 1.

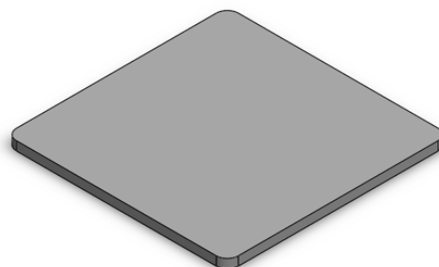


Figura 5- Peça para estudo laboratorial

3.3. Molde peça laboratorial

O molde projectado tem uma estrutura em aço de construção, e podem aplicar-se na estrutura do mesmo, diversos tipo de insertos nas zonas moldantes, para assim serem testados os vários tipos de materiais seguindo um conceito de molde híbrido. É um molde de dimensões reduzidas, aquecido com duas resistências, uma na cavidade e outra na bucha. Na Figura 6 pode-se ver a constituição do molde utilizado no estudo laboratorial:

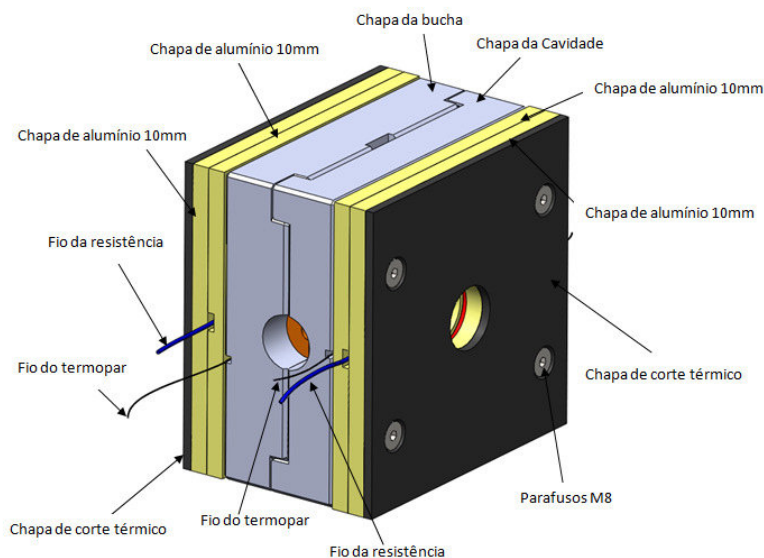


Figura 6- Molde utilizado no projeto

O molde permite a injeção do material vertical e horizontalmente, como se pode ver nas figuras abaixo. O tampão demonstrado poderá ter um pequeno orifício e poderá funcionar como escape de gases, caso necessário.

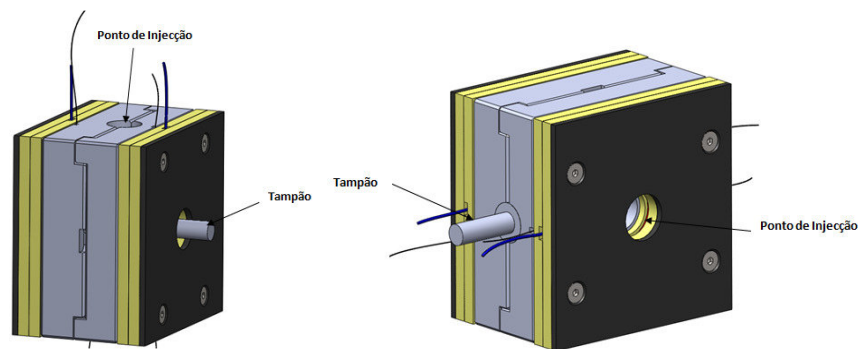


Figura 7- Funcionamento do molde, para cabeça de injeção vertical e horizontal



Figura 8- Molde utilizado no projecto

Diferentes posições moldantes (Tabela 1) foram desenvolvidos, como apresenta a Tabela 1.

Tabela 1– Tecnologias e materiais de fabrico dos postigos.

Tecnologias	Materiais
Maquinação	Alumínio (5083)
	Zamak
	(O molde de Alumínio e de Zamak levaram um revestimento de PVD)

O alumínio seleccionado para este molde foi o Alumínio (5083), que é caracterizado como sendo uma liga de alumínio com boas propriedades mecânicas e é usado na indústria da

prototipagem e moldes. As propriedades e características que o Alumínio (5083) pode oferecer, fazem dele um material ideal para a prototipagem, de médias séries e que não estejam sujeitos a altas pressões ou a plásticos abrasivos. A utilização do Alumínio (5083) permite tempos de maquinação pequenos, baixo custo de maquinação e pequenos tempos de ciclos.



Figura 9- Molde de alumínio

Tabela 2-Propriedades físicas do alumínio

Propriedades físicas	Densidade	2.83 kg/dm ³
	Modulo de elasticidade	71.5 GPa
	Coefficiente de expansão térmica	23 µm/m-°C
	Condutividade térmica	165 W/mK
	Calor específico	890 J/kg-°C

O Zamak utilizado, é a denominação genérica de diversas ligas metálicas contendo basicamente zinco (Zn), juntamente com Alumínio (Al), Magnésio (Mg) e Cobre (Cu). Na indústria são utilizadas diversas ligas Zamak, com diferentes teores de Al, Mg e Cu, o que resulta em diferentes propriedades mecânicas. São materiais de baixo custo utilizados na fundição de peças que necessitam de pouca resistência mecânica. A utilização de Zamak permite tempos de maquinação pequenos, baixo custo de maquinação e pequenos tempos de ciclos.



Figura 10- Molde de Zamak

Tabela 3- Propriedades físicas do Zamak

Propriedades físicas	Densidade	6.9 kg/dm ³
	Modulo de elasticidade	96 GPa
	Coefficiente de expansão térmica	27.8 µm/m-°C
	Condutividade térmica	105 W/mK
	Calor específico	419 J/kg-°C

Os blocos possuem as dimensões ilustradas nas figuras (Figura 11 e Figura 12) e têm um ângulo de saída de 3°, para facilitar o acoplamento e remoção dos insertos na estrutura do molde. Têm também dois furos passantes nos cantos para inserir os varões roscados de forma a garantir o fecho do molde, lateralmente possuem duas aberturas para a colocação de uma calha de forma a fixar o inserto ao molde.

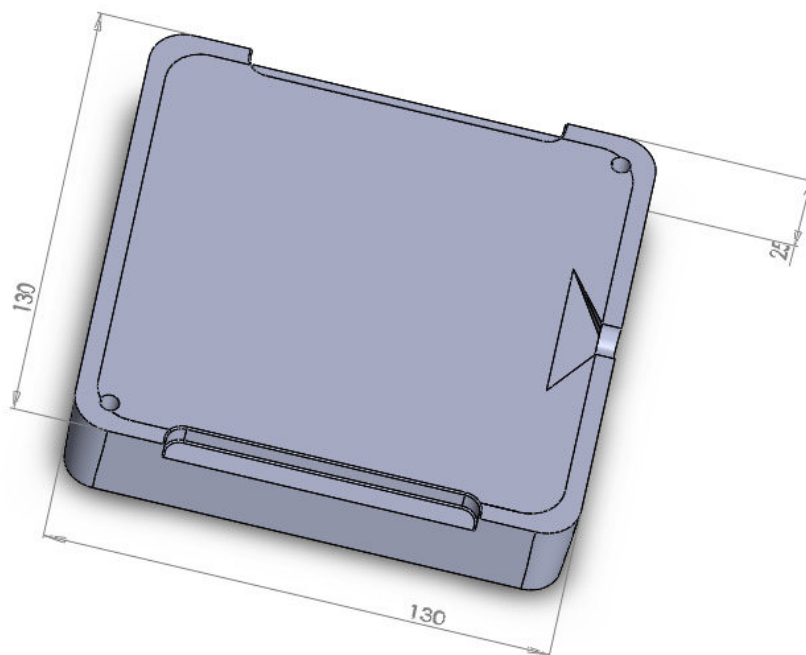


Figura 11- Desenho 3D da bucha da peça com ribs

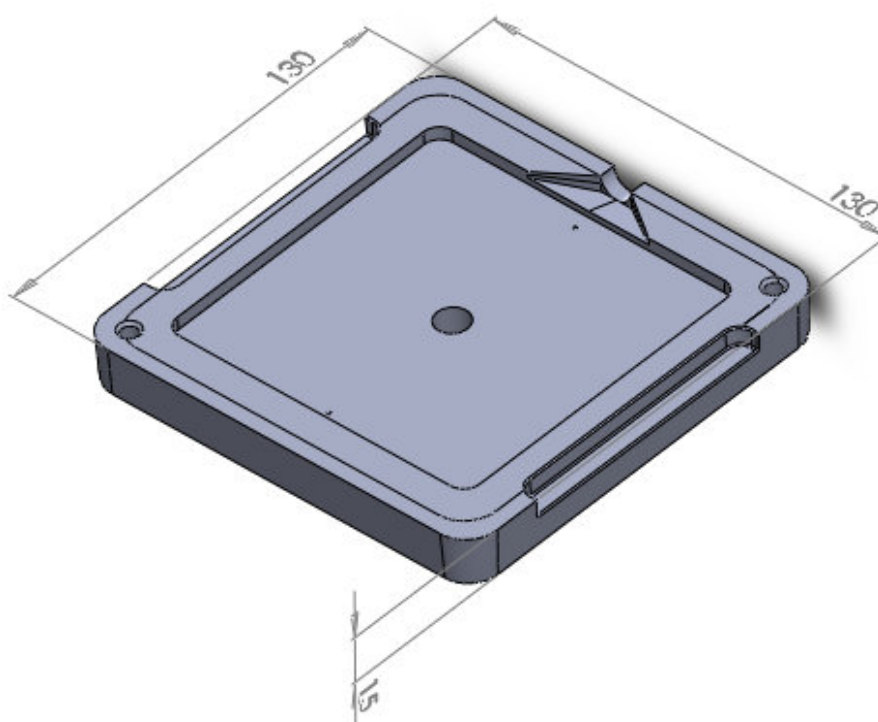


Figura 12- Desenho 3D da cavidade das duas peças

3.4. Estudo de uma peça industrial

A peça seleccionada como caso de estudo industrial para o projecto é uma peça utilizada no caso estudo do projecto Bigproto. O projecto dos casos de estudo e respectivos moldes foi desenvolvido por recurso a ferramentas (CAD, CAE), especificamente o software CAD Solidworks. Segue-se o desenho/modelação do caso de estudo na Figura 13:

Características do artigo:

Volume = 5326909.8 mm³

Massa = 6.4 kg

Dimensões = 586 *393*579 mm

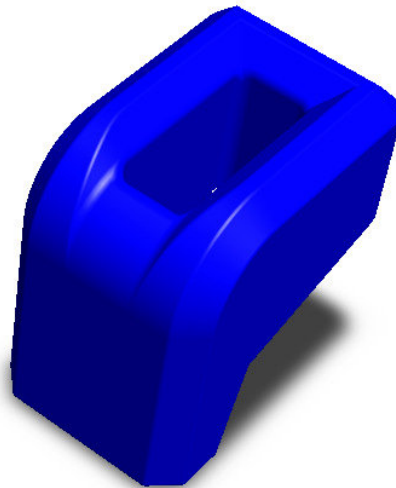


Figura 13- Peça caso industrial

CAPÍTULO 4: MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo são apresentados os procedimentos experimentais realizados nesta dissertação. Irá ser apresentado o material para as peças, as condições de processamento, o processamento e os testes realizados para a caracterização das moldações, nomeadamente ensaios mecânicos.

4.1. Materiais das Moldações

O material utilizado no RIM de Poliuretano foi o Biresin RG54 NEU que é o conjunto de dois materiais, o polioliol e o isocianato, fornecida pela SIKA.

O Biresin RG54 Neu é a resina de polioliol produzida pela SIKA.

O Biresin U5, é o isocianato com base MDI, produzida pela SIKA.

As fichas técnicas estão inseridas no Anexo 2 – Fichas técnicas do material das Moldações.

4.1. Condições de Processamento

Antes de se iniciar o processamento foi necessário saber a quantidade de material utilizada para encher a zona moldante dos insertos. Esta foi determinada utilizando o volume das peças obtido através do SolidWorks e considerando a massa volúmica de um Poliuretano de 1,2 g/cm. Assim, a massa obtida foi de 52 g para o PU, mas utilizou-se 55g para assegurar o enchimento.

Iniciou-se o estudo com as percentagens de isocianato e polioliol recomendadas pelo fornecedor, a 30°C.

4.2. Processamento

No RIM de Poliuretano, antes de ligar a máquina é necessário fazer a ligação dos tubos do ar comprimido ao equipamento com uma pressão de 6 bar. Após a ligação da máquina e dependendo das condições de processo que se quer variar, deve-se verificar no controlador a temperatura dos reagentes.

Antes de iniciar a injeção deve-se ter em atenção a posição em que o molde é colocado, pois representa um importante factor na forma como o fluido se distribui ao longo da peça, podendo originar prisão de gases e consequentemente afectar a qualidade superficial da peça. Na peça em questão a injeção foi realizada com o molde na posição horizontal.

Nesta técnica são utilizadas canas de mistura (Figura 14) que são colocadas na cabeça de mistura e têm como finalidade promover a mistura dos dois componentes antes da entrada do material no molde. Para aumentar a qualidade da mistura, existe no interior das canas uma espiral em todo o seu comprimento. No entanto para obter uma boa mistura é necessário ter em atenção o comprimento da cana que se está a utilizar. Assim, um tubo com maior comprimento promove melhores misturas. A cana misturadora possui uma ponta em bico que permite a injeção directa do material no molde, ao fim de cada injeção esta tem de ser substituída por uma nova.

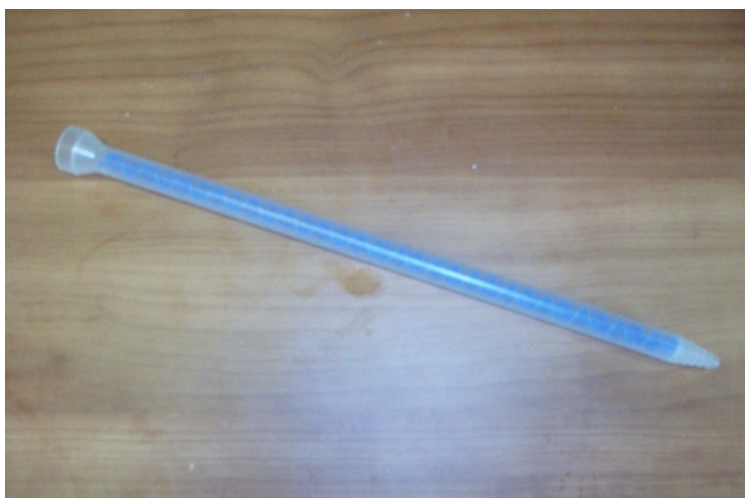


Figura 14- Cana misturadora

Após a injeção do material no molde, existe um período de tempo (cerca de 10 min) no qual ocorre a cura do material. Durante este período, a cana de mistura deve permanecer no molde, de forma a evitar o recuo do material pelo bico de injeção e consequentemente a obtenção de moldações incompletas.

Posteriormente, é feita manualmente a abertura do molde, com a ajuda de equipamentos auxiliares (por exemplo, chave de fendas) e é retirada a peça.

Após cada ciclo o molde é limpo, de forma a retirar as pequenas quantidades de material que se encontram principalmente nas saídas de escape de gases e na linha de partição. A peça fica em repouso durante 3 dias, pois é o tempo de cura recomendada pelo fornecedor.



Figura 15-Processamento das peças em poliuretano

4.3. Caracterização das Moldações

4.3.1. Ensaios de Tração

Para a realização dos ensaios de tração foi necessário proceder ao corte de provetes normalizados. De cada uma das peças foram retirados quatro provetes do tipo 1 BB, cuja configuração está representada na Figura 18. Na Figura 16 estão representadas as dimensões gerais do provete onde se pode ver a espessura do provete. Estes provetes foram cortados utilizando uma máquina prensa. O ensaio de tração foi realizado segundo a norma ISO 571 de 1993, à temperatura ambiente (23°C) e com uma humidade relativa de cerca de 50%. A célula de carga é de 5 kN e a velocidade utilizada foi de 5 mm/min. Para os resultados foram considerados três provetes de cada condição.

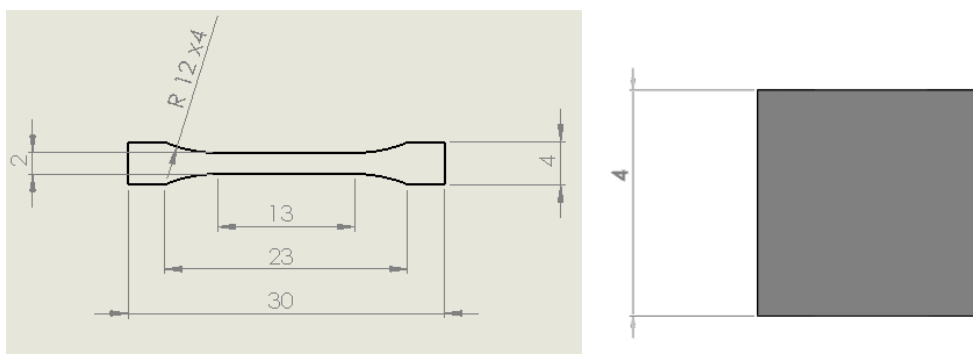


Figura 16-Dimensões do provete de tração, espessura do provete de tração

4.3.2. Ensaio de Impacto

Para a realização dos ensaios de impacto foi utilizado um provete de dimensões 80x10x4 mm, mas desta vez foi cortado do lado oposto da peça, conforme ilustrado na Figura 18. Os ensaios de impacto realizados foram do tipo Izod, conforme a norma ISO 180.

Neste provete foi necessário proceder a um entalhe para iniciar a fractura do impacto a quando da queda do peso. O local, dimensões do entalhe e as dimensões da espessura estão indicados na Figura 17.

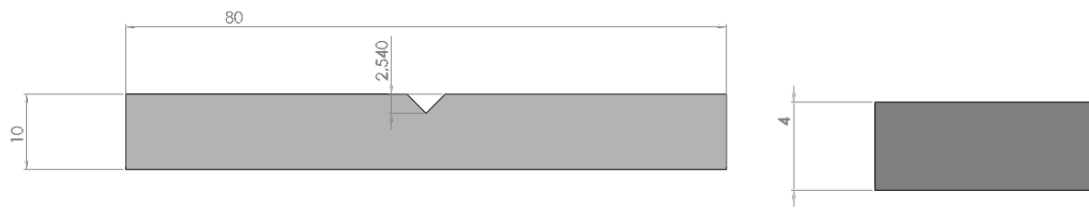


Figura 17- Dimensões do provete de impacto, espessura do provete de impacto

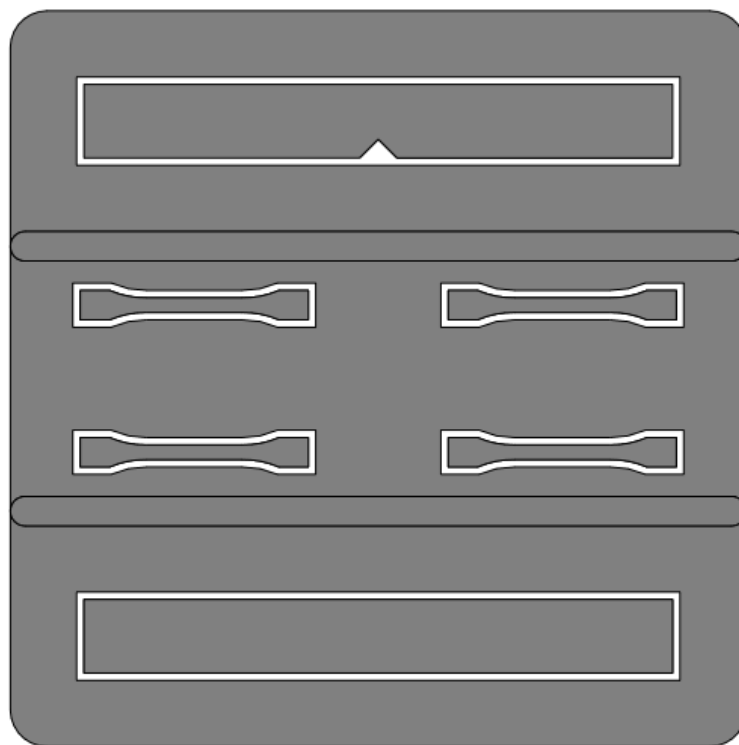


Figura 18-Corte dos provetes para ensaios mecânicos

4.3.3. Controlo dimensional das moldações e dos moldes

O objectivo da medição das peças e dos moldes é a determinação da deformação das peças em certas zonas. As medições foram realizadas utilizando um paquímetro a 23°C e 50% de humidade relativa. A deformação é determinada pela medição de um determinado ponto na peça e a medição do mesmo ponto no inserto. A Figura 19 mostra a posição dos pontos na peça e a Figura 20 nos insertos.

Na cavidade mediu-se a zona de moldação para perceber a deformação na base da peça, na sua largura (Y), comprimento (X) e altura (PL0-PL1). No comprimento e na largura foram medidas três distâncias e calculou-se a sua média e desvio-padrão.

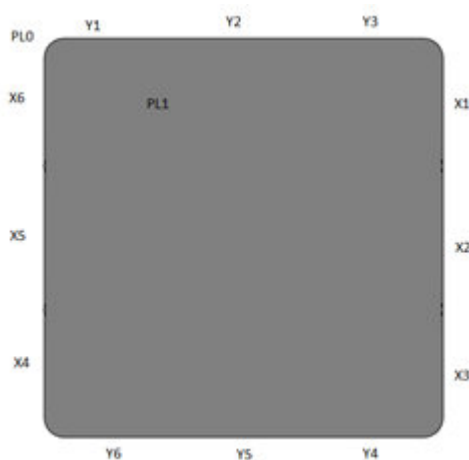


Figura 19- Localização dos pontos seleccionados na peça.

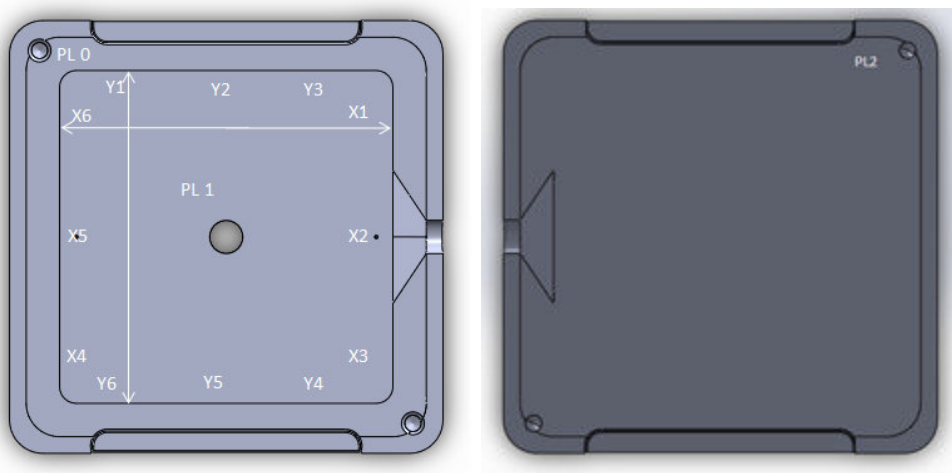


Figura 20- Localização dos pontos seleccionados na cavidade e na bucha.

4.4. Simulações

Para este trabalho foi realizada uma simulação de enchimento no programa Moldflow, na opção “reactive molding”, de forma a obter informações fundamentais acerca do processamento da peça em questão e comparar com os resultados obtidos experimentalmente.

Para tal, foram realizadas varias simulações de enchimento, onde se variaram diferentes parâmetros, nomeadamente a temperatura do molde, a temperatura dos reagentes e o tempo de cura.

Relativamente à selecção do material para a simulação, houve necessidade de criar uma nova base de dados, introduzindo as características do material utilizado no processamento, uma vez que este não se encontrava na base de dados existente no Moldflow.

Sobre o material foram introduzidas as propriedades térmicas, cinéticas, reológicas e também as condições de processamento. Estas propriedades foram retiradas da ficha técnica fornecida pelos produtores deste material e de trabalhos já realizados (encontram-se no Anexo 3 – dados dos materiais utilizados no moldflow).

Para este estudo foram realizadas uma série de simulações usando o tipo de malha dual domínio, variando a temperatura do molde, a temperatura dos reagentes, o tempo de cura e o material do molde. O tempo e pressão de injeção utilizados foram respectivamente 8s e 0.5MPa. As condições de processamento utilizadas para esta simulação de enchimento, estão representadas na Tabela 4.

Tabela 4- Condições de processamento para as simulações da peça laboratorial

	Temperatura do fundido (°C)	Temperatura do molde (°C)	Tempo de cura (s)	Material do molde
Poliuretano				
Simulação 1	30	30	600	Zamak
Simulação 2	30	60	600	Zamak
Simulação 3	30	30	600	Alumínio
Simulação 4	30	60	600	Alumínio
Simulação 5	50	30	600	Zamak
Simulação 6	50	60	600	Zamak
Simulação 7	50	30	600	Alumínio
Simulação 8	50	60	600	Alumínio

Foram também realizadas simulações das propriedades mecânicas no programa Ansys, de forma a obter informações fundamentais acerca das propriedades da peça em questão e comparadas com os resultados obtidos experimentalmente.

Relativamente à selecção do material para a simulação, houve necessidade de criar uma nova base de dados, introduzindo as características do material que foi utilizado no processamento, uma vez que este material não se encontrava na base de dados existentes no Ansys. Assim, foram introduzidas as propriedades mecânicas e densidade. Estas propriedades foram retiradas da ficha técnica fornecida pelos produtores deste material (encontram-se no Anexo 3 – dados dos materiais utilizados no moldflow).

Para esta análise foram realizadas uma série de simulações usando o tipo de malha dual domínio, para retirar as tensões e as deformações do material.

Esta dissertação tem como principal objectivo desenvolver o know-how necessário à injeção a baixa pressão de Poliuretanos (RIM de Poliuretano). Desta forma, é possibilitado o fabrico de protótipos de pequenas séries de peças de elevadas dimensões, com um desempenho em serviço melhorado e a mais baixo custo, traduzindo numa diferenciação positiva no mercado como uma alternativa economicamente viável aos processos utilizados habitualmente.

Assim, para verificar a viabilidade de injeção de peça de grande dimensão foram realizadas simulações de enchimento no programa Moldflow e Ansys, para serem comparadas com as simulações da peça laboratorial e com os respectivos resultados experimentais. As condições utilizadas encontram-se na Tabela 5:

Tabela 5- Condições de processamento para as simulações da peça industrial

	Temperatura do fundido (°C)	Temperatura do molde (°C)	Tempo de cura (s)	Material do molde
Poliuretano				
Simulação 1	30	30	600	Zamak
Simulação 2	30	60	600	Zamak
Simulação 3	30	30	600	Alumínio
Simulação 4	30	60	600	Alumínio
Simulação 5	50	30	600	Zamak
Simulação 6	50	60	600	Zamak
Simulação 7	50	30	600	Alumínio
Simulação 8	50	60	600	Alumínio

CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados e a sua respectiva discussão. São apresentados os resultados dos equipamentos de RIM e das peças obtidas. Será também discutido o processamento do material utilizado, os ensaios realizados, e por fim a comparação das simulações com os resultados experimentais.

5.1. Equipamento

O equipamento de poliuretano foi calibrado pelo fabricante e não permite variar o doseamento, vindo da empresa com o doseamento recomendado do material.

5.2. Material

Devido ao equipamento existente para os ensaios, decidiu-se que nestes não se podia estudar a influência da variação dos activadores e catalisadores no produto final, utilizando as temperaturas recomendadas pelo fornecedor. Para o Poliuretano as condições utilizadas foram:

Tabela 6-Condições de processamento do Poliuretano

	poliol (partes por peso(g))	isocianto (partes por peso(g))	Temperatura do fundido (°C)	Temperatura do molde (°C)	Material do molde
Condição 1	100	70	Temperatura ambiente	30°C	Zamak
Condição 2	100	70	Temperatura ambiente	30°C	Alumínio

5.3. Moldes

Os insertos utilizados foram os já maquinados, sendo os materiais usados descritos seguidamente.

Para facilitar a desmoldação os insertos de alumínio e Zamak foram revestidos com PVD (Physical Vapor Deposition). O PVD é um revestimento cerâmico fino com elevada aderência, depositado por plasma altamente ionizado numa câmara de vácuo. Tem uma dureza superior ao dobro da do cromo duro, baixo coeficiente de atrito, elevada resistência à oxidação, protege contra ataques químicos e térmicos, resiste ao desgaste por adesão e abrasão, é quimicamente inerte e biocompatível.

Nos moldes para plásticos e para borracha, assim como nos moldes para fundição injectada de metais não ferrosos (alumínio, zamak), os revestimentos por PVD permitem reduzir o desgaste e a corrosão, melhoram a desmoldação e facilitam a limpeza. O PVD utilizado foi o Nitreto de Titânio que tem como principais características: alta dureza, boa adesão, microestrutura muito densa, aumenta a resistência ao desgaste, superfície com baixo potencial reactivo, reduz a tendência para a soldadura a frio, biocompatível, quimicamente estável e é resistente á corrosão. [23]

Para facilitar o corte dos provetes para os ensaios decidiu-se encher os ribs com silicone Kōraform K 65 red (Figura 21). Retiraram-se três peças por condição:



Figura 21- Molde de alumínio e Zamak revestido com silicone nos ribs

5.4. Peças

Na Figura 22 mostra-se um exemplo de peças obtidas com os insertos de Zamak e Alumínio, revestidos com os ribs preenchidos com silicone com o Poliuretano.



Figura 22-(Esquerda) Peça do Molde Zamak revestido; (Direita) Peça do Molde Alumínio revestido

5.5. Caracterização das Moldações

5.5.1 Ensaios Mecânicos

5.5.1.2 Tração

Os ensaios mecânicos de resistência à tração foram realizados de acordo com o descrito na secção 4.3.1., sobre três provetes cortados numa prensa hidráulica.

Para cada condição obteve-se o Módulo de Elasticidade, a Tensão e Deformação de Cedência e realizaram-se os gráficos que a seguir se apresentam.

Na Figura 23 pode-se observar o módulo de elasticidade para as várias condições nos dois tipos de inserto, de alumínio e de zamak, ambos revestidos. Comparando os resultados dos materiais de insertos diferentes, verificou-se que em ambos os materiais de insertos utilizados (alumínio e zamak) o módulo de elasticidade é semelhante.

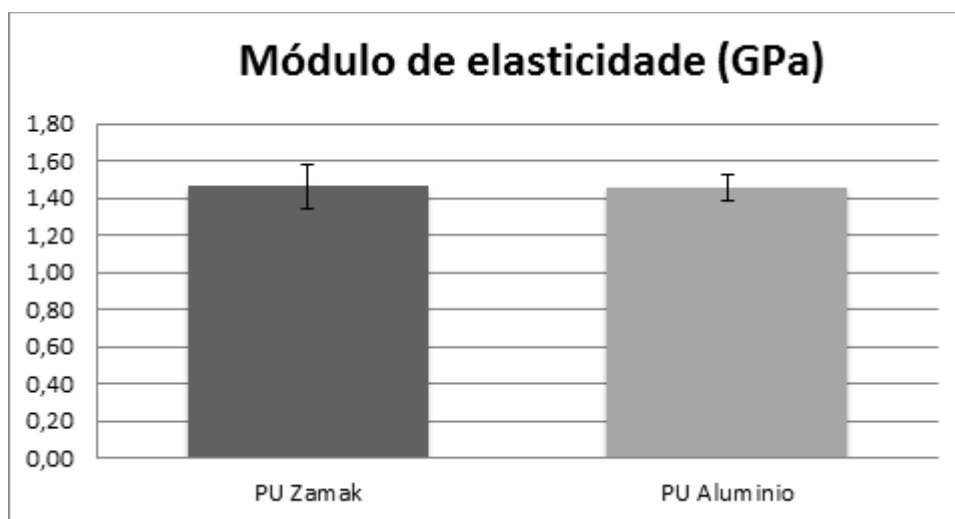


Figura 23- Gráfico do Módulo de Elasticidade nas várias condições.

Tal como o módulo de elasticidade, a tensão de cedência é semelhante, observando a Figura 24, verificam-se os resultados da tensão de cedência :

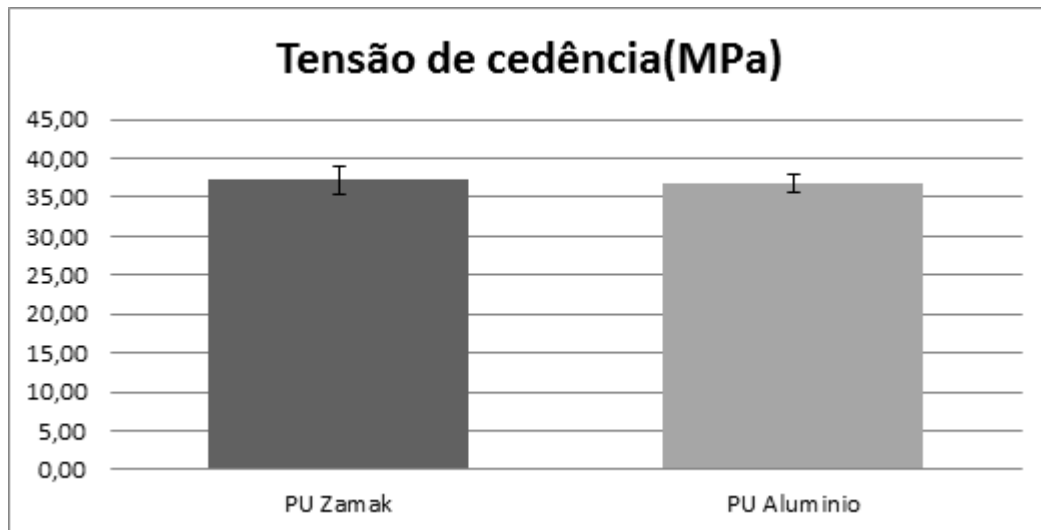


Figura 24- Gráfico da Tensão de Cedência nas várias condições.

Analisando os resultados da deformação de cedência (Figura 25), seria de esperar que a deformação fosse semelhante em ambos os materiais:

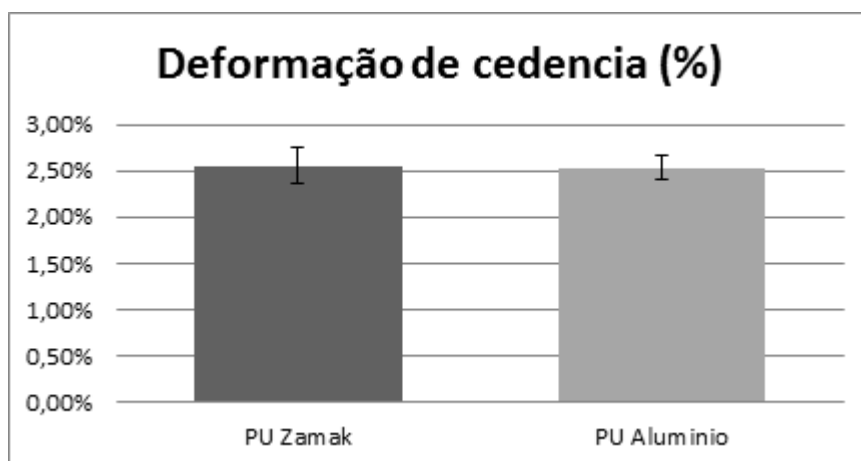


Figura 25- Gráfico da Deformação de Cedência nas várias condições.

5.5.1. 2 Impacto

Os ensaios de impacto realizaram-se de acordo com o procedimento descrito no capítulo 4.3.2., sobre três provetes com 10 mm de largura cortados das peças obtidas com 4 mm de espessura.

Na Figura 26 pode-se observar a força de impacto para as várias condições nos dois tipos de inserto. Nos resultados das peças obtidas com materiais de insertos diferentes, verifica-se que em ambos os materiais de insertos utilizados (alumínio e zamak) a força de impacto é semelhante:

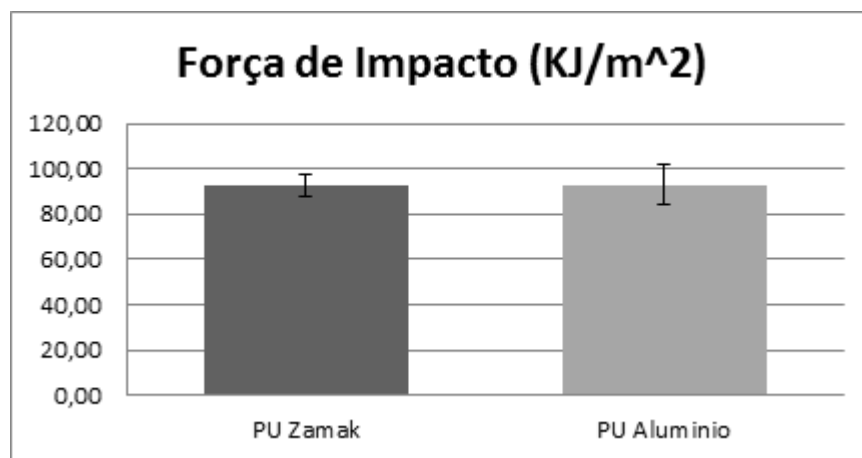


Figura 26- Gráfico de Impacto nas várias condições.

5.5.1.3 Controlo dimensional das molações e dos moldes

Um dos objectivos deste estudo era analisar dimensionalmente as peças obtidas por dois materiais alumínio e zamak, e verificar se haveria ou não deformação nas peças.

Comparando os dois materiais para insertos e materiais de injeção, com o desenho CAD, verifica-se que são obtidos resultados semelhantes em termos de dimensões à maquinação.

Tabela 7-Dimensões da bucha e cavidade

Cavidade	Alumínio	Zamak
x1-x6	99,68	99,54
x2-x5	99,57	99,5
x3-x4	99,5	99,48
y1-y6	99,72	99,6
y2-y5	99,72	99,73
y3-y4	99,65	99,74
PI0-PI1	4	3,93

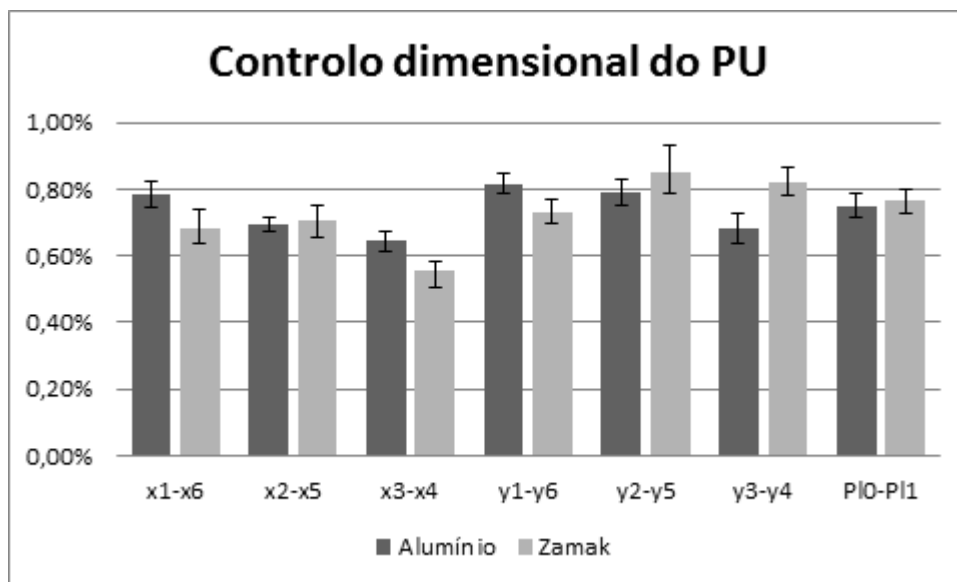


Figura 27- Gráfico com valores das contrações

Contudo, comparando os dois tipos de insertos (Zamak e alumínio revestidos) com o desenho CAD, verifica-se que se conseguem obter resultados semelhantes em termos de dimensões, com contracções de cerca 0.7% em ambos os materiais.

5.6. Simulações

5.6.1. Efeito do aumento da temperatura do molde na peça laboratorial

Relativamente aos resultados obtidos na simulação, é possível verificar nas imagens seguintes a percentagem de material curado aquando da desmoldação da peça, ou seja após 10 minutos da injeção. Cada imagem está associada a uma diferente simulação, as quais diferem na temperatura do molde.

Assim, no Poliuretano a Figura 28 e Figura 29 dizem respeito à simulação 1 onde a temperatura do molde utilizada foi de 30°C. As Figura 30 e Figura 31 são relativas à simulação 2, onde a temperatura do molde foi de 60°C, em ambas as simulações o material do molde é o zamak.

Através das imagens é possível verificar que o aumento da temperatura do molde promove um aumento da percentagem de material curado para o mesmo tempo de cura. Este efeito acontece também para temperaturas mais altas dos reagentes.



Figura 28- Simulação 1 da peça laboratorial onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 350 segundos

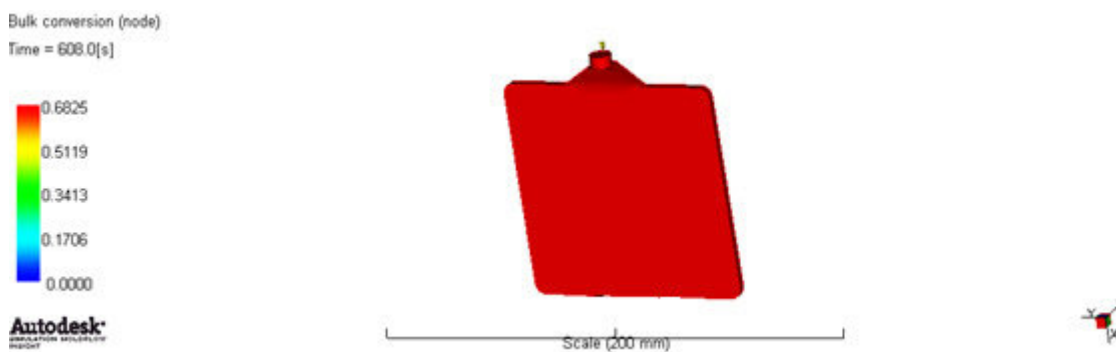


Figura 29- Simulação 1 da peça laboratorial onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos



Figura 30- Simulação 2 da peça laboratorial onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 350 segundos



Figura 31- Simulação 2 da peça laboratorial onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos

5.6.2. Efeito do aumento da temperatura dos reagentes na peça laboratorial

No efeito do aumento da temperatura dos reagentes na simulação do Poliuretano a Figura 32 diz respeito a simulação 3, onde a temperatura dos reagentes utilizada foi de 30°C. A Figura 33 é respectiva à simulação 7 onde a temperatura dos reagentes foi de 50°C. Em ambas as simulações o material do molde é o alumínio.

Relativamente ao efeito do aumento de temperatura dos reagentes não se verificam diferenças significativas na percentagem de material curado.

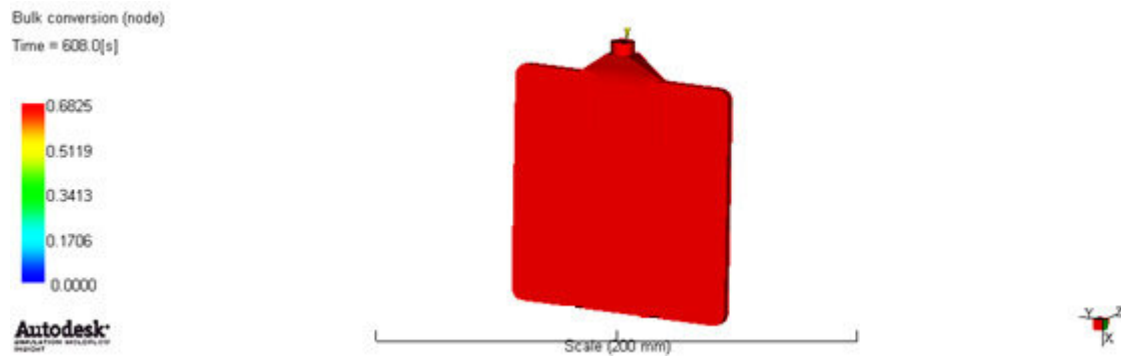


Figura 32- Simulação 3 da peça laboratorial onde a temperatura dos reagentes é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos

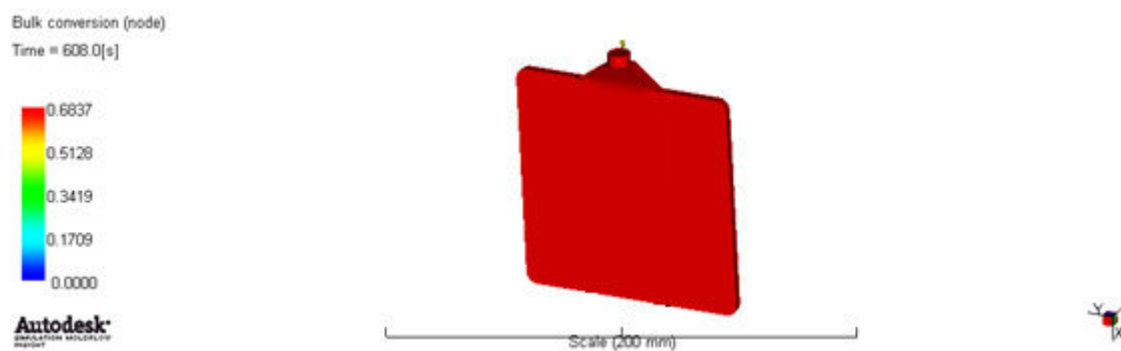


Figura 33- Simulação 7 da peça laboratorial onde a temperatura dos reagentes é 50°C com no tempo de cura de 600 segundos

Realizaram-se também simulações a força de fecho e viscosidades, para verificar se as forças e viscosidades eram baixas. Assim, na Figura 34 observa-se a força de fecho obtida na simulação 1 do Poliuretano e na Figura 35 mostra a viscosidade obtida na simulação.

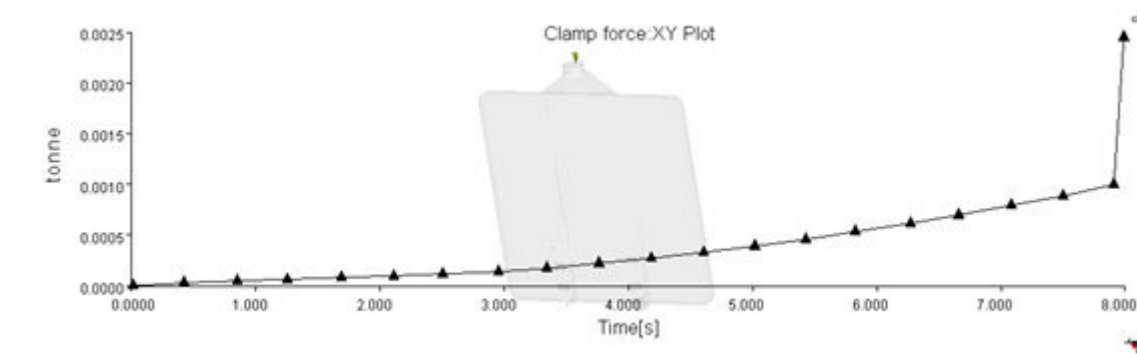


Figura 34- Força de fecho na simulação 1 da peça laboratorial

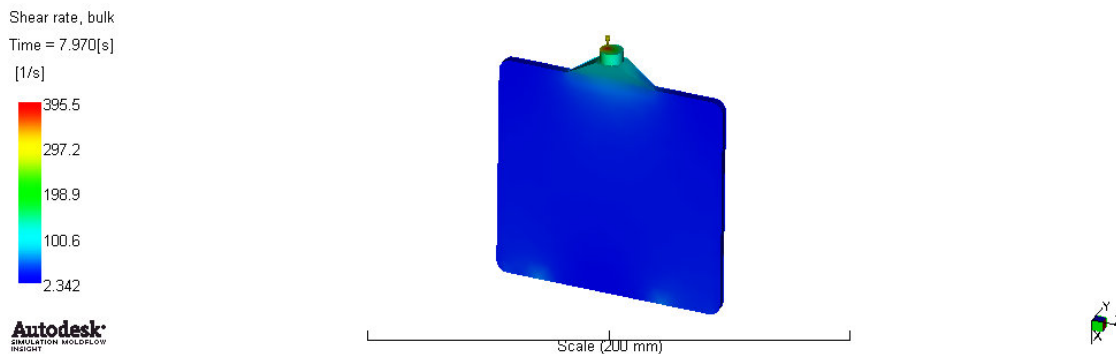


Figura 35- Viscosidades na simulação 1 da peça laboratorial

No processo de cura do material, verifica-se que a reacção de cura do Poliuretano necessita de uma pós cura, pois este fica curado cerca de 70%. Observa-se também que os resultados obtidos são bastante similares aos resultados obtidos experimentalmente. Portanto, conclui-se que o módulo reactive molding do Moldflow apresenta resultados bastantes viáveis sabendo que o materiais utilizados foram pesquisados na literatura, tendo o senão da base de dados deste programa relativamente, este módulo apresenta um número baixo de grades a poder utilizar. No ponto dos outros resultados mostra que a força de fecho e as viscosidades são muito baixas, assim como pretendido nos resultados experimentais.

5.6.3. Simulações das propriedades mecânicas na peça laboratorial

Relativamente aos resultados obtidos na simulação, é possível verificar nas imagens seguintes a deformação equivalente (Figura 36) e a sua intensidade (Figura 37) e a tensão equivalente (Figura 38) e normal (Figura 39). Comparando com os resultados obtidos nos ensaios experimentais mecânicos verificam-se propriedades semelhantes, nas deformações reais são cerca de 2,5% e nas simulações 2,2%, nas tensões reais é cerca de 37 MPa e na simulação é 34 MPa.

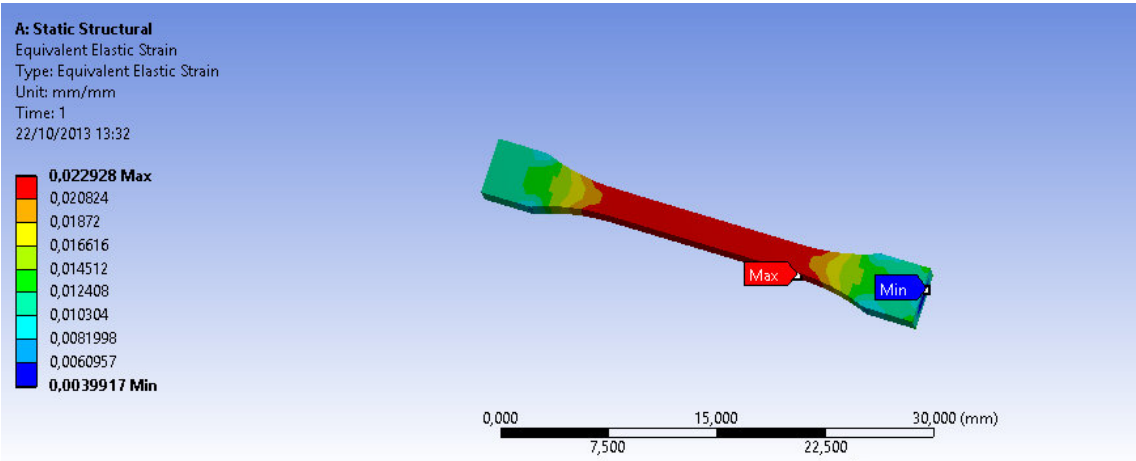


Figura 36- deformação equivalente

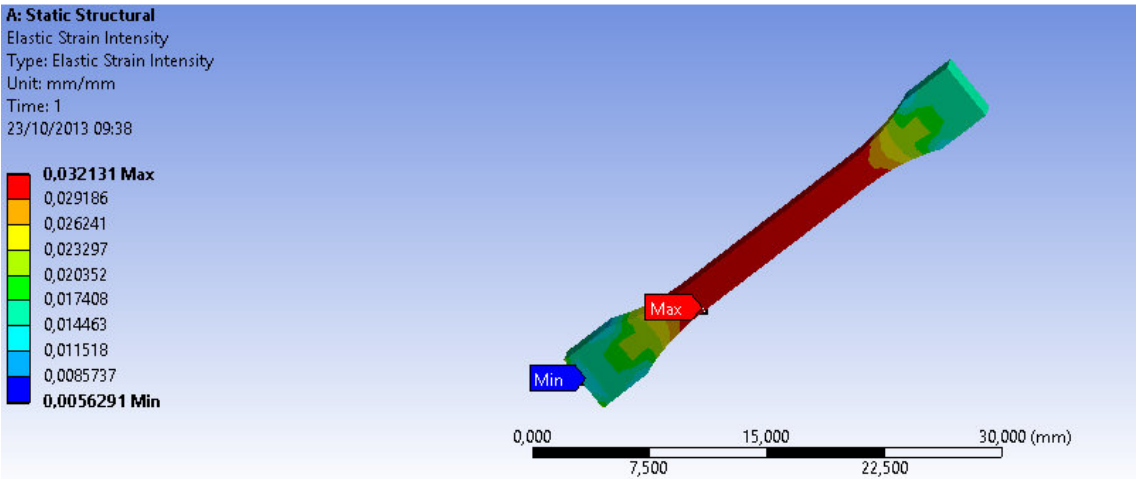


Figura 37- Intensidade da deformação

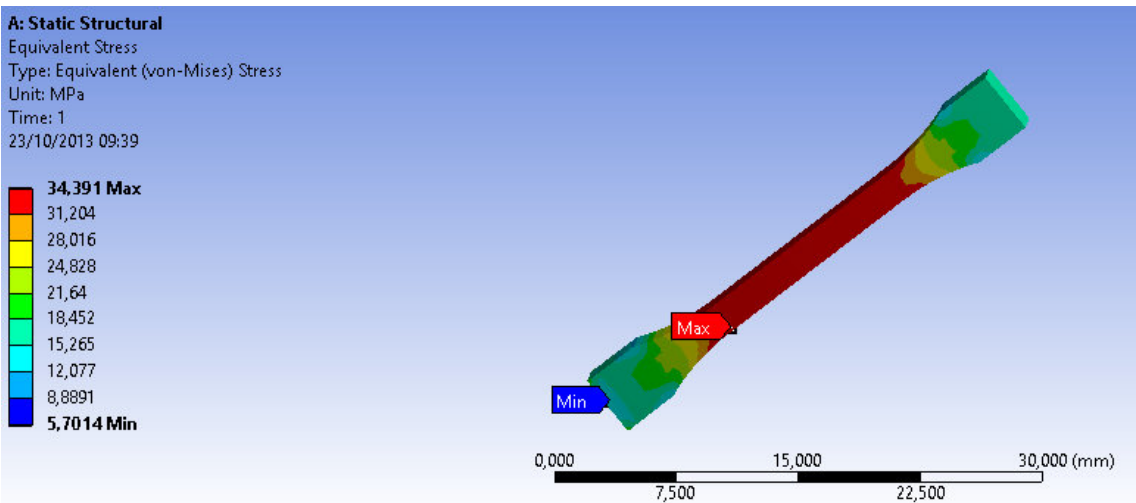


Figura 38- Tensão equivalente

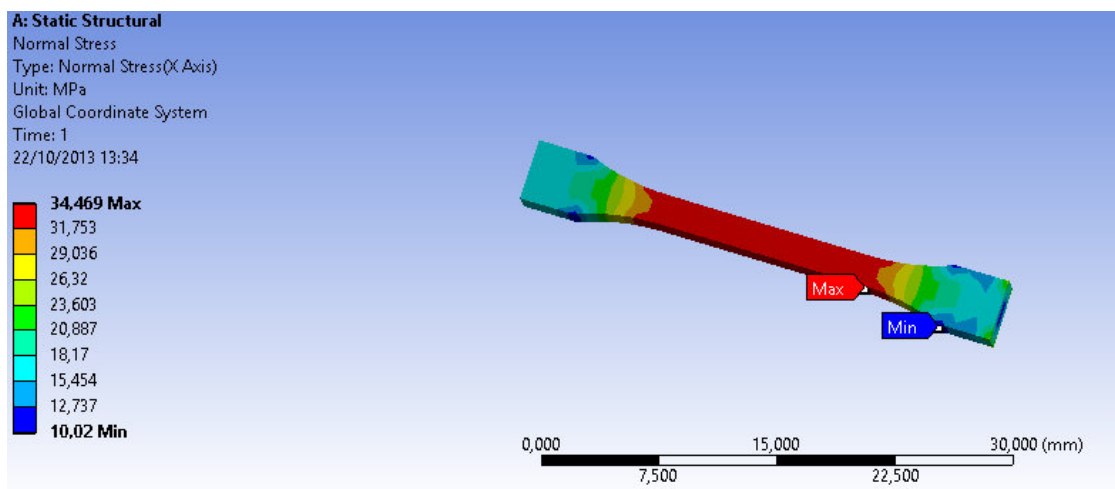


Figura 39- Tensão normal

5.6.4. Efeito do aumento da temperatura do molde na peça industrial

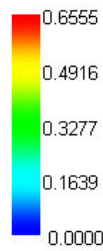
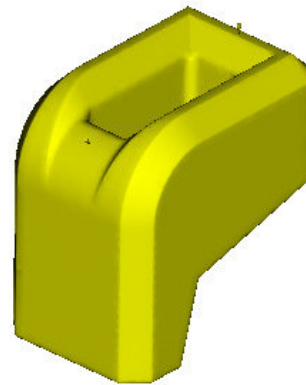
Relativamente aos resultados obtidos na simulação da peça industrial, é possível verificar nas imagens seguintes a percentagem de material curado aquando da desmoldação da peça. Cada imagem está associada a uma diferente simulação, as quais diferem na temperatura do molde.

Assim, no Poliuretano onde a Figura 40 e Figura 41 dizem respeito à simulação 1 onde a temperatura do molde utilizada foi de 30°C, a Figura 42 e Figura 43 à simulação 2 onde a temperatura do molde foi de 60°C, em ambas as simulações o material do molde é o zamak.

Através das imagens pode-se verificar que o aumento da temperatura do molde promove um aumento da percentagem de material curado para o mesmo tempo de cura. Este efeito acontece também para temperaturas mais altas dos reagentes.

Bulk conversion (node)

Time = 382.9[s]

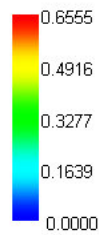
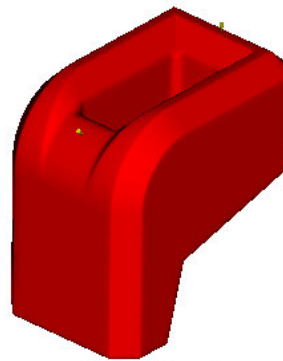
Autodesk
SIMULATION MOLDFLOW
INSIGHT

Scale (1000 mm)

Figura 40- Simulação 1 da peça industrial onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 350 segundos

Bulk conversion (node)

Time = 607.9[s]

Autodesk
SIMULATION MOLDFLOW
INSIGHT

Scale (1000 mm)

Figura 41- Simulação 1 da peça industrial onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos

Bulk conversion (node)

Time = 352.9[s]

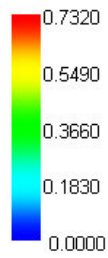
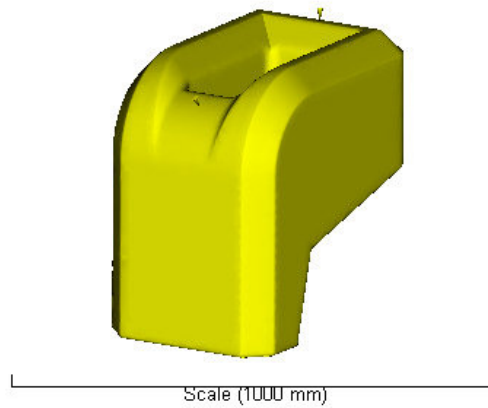
Autodesk
SIMULATION MOLDFLOW
INSIGHT

Figura 42- Simulação 2 da peça industrial onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 350 segundos

Bulk conversion (node)

Time = 607.9[s]

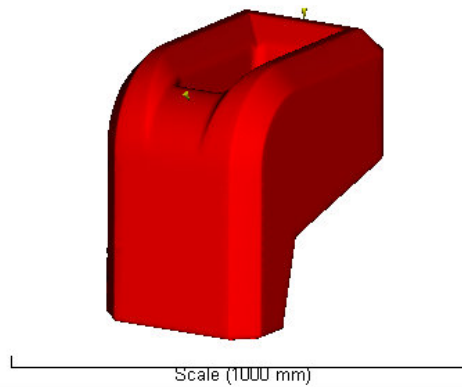
Autodesk
SIMULATION MOLDFLOW
INSIGHT

Figura 43- Simulação 2 da peça industrial onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos

5.6.5. Efeito do aumento da temperatura dos reagentes na peça industrial

No efeito do aumento da temperatura dos reagentes na simulação do Poliuretano a Figura 44 diz respeito a simulação 3 onde a temperatura dos reagentes utilizada foi de 30°C e a Figura 45 à simulação 7 onde a temperatura dos reagentes foi de 50°C, em ambas as simulações o material do molde é o alumínio. Relativamente ao efeito do aumento de temperatura dos reagentes não se verificam diferenças significativas na percentagem de material curado.

Bulk conversion (node)

Time = 607.9[s]

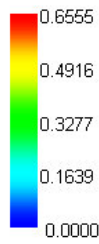
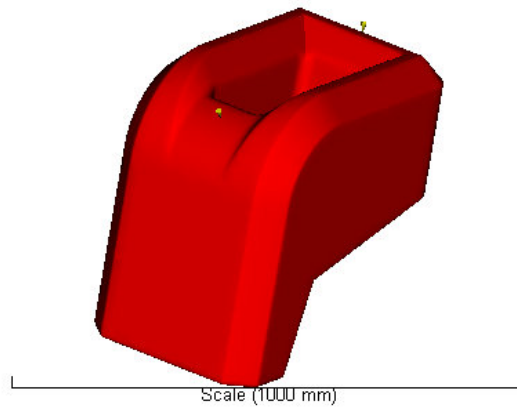
Autodesk
SIMULATION MOLDFLOW
INSIGHT

Figura 44- Simulação 3 da peça industrial onde a temperatura dos reagentes é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos

Bulk conversion (node)

Time = 607.9[s]

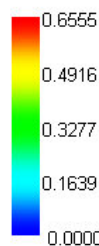
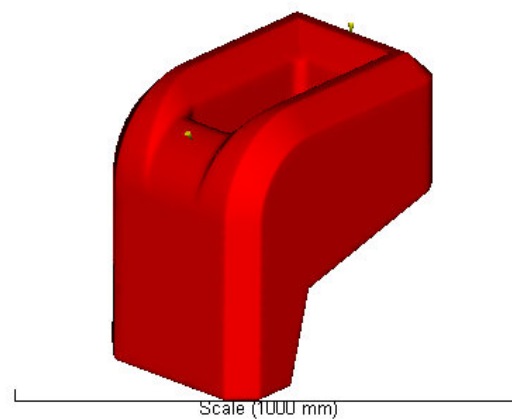
Autodesk
SIMULATION MOLDFLOW
INSIGHT

Figura 45- Simulação 7 da peça industrial onde a temperatura dos reagentes é 50°C com no tempo de cura de 600 segundos

Foram também realizadas simulações à força de fecho e viscosidades, para verificar se as forças e viscosidades eram baixas. Assim, na Figura 46 observa-se a força de fecho obtida na simulação 1 do poliuretano e na Figura 47 mostra a viscosidade obtida na simulação.

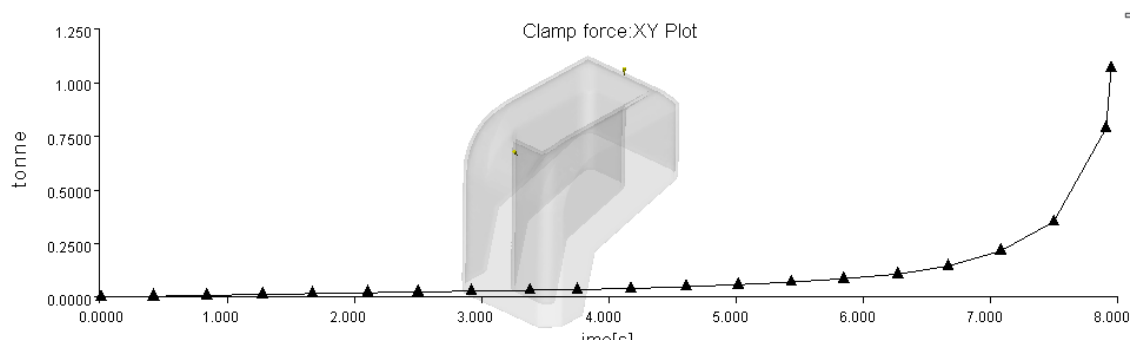


Figura 46- Força de fecho na simulação 1 da peça industrial

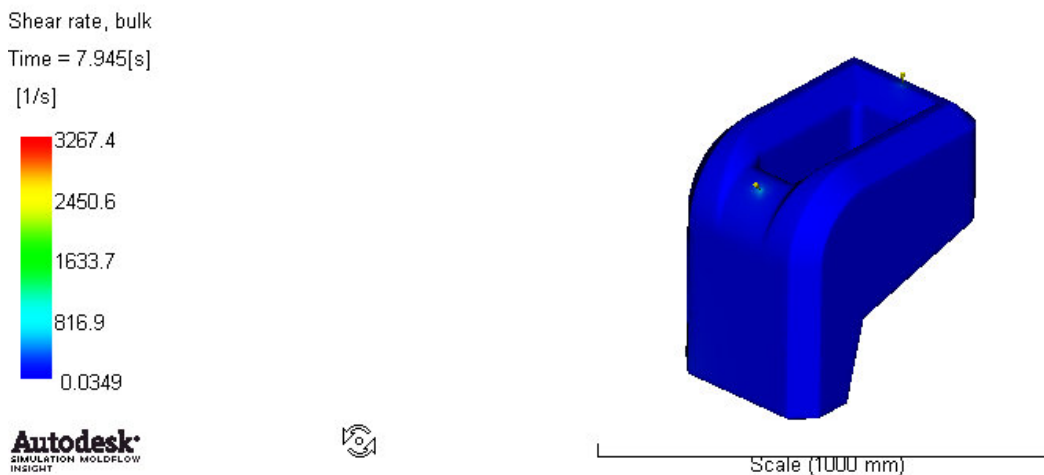


Figura 47- Viscosidades na simulação 1 da peça industrial

No processo de cura do material, verifica-se que a reacção de cura do Poliuretano necessita de uma pós cura pois este fica curado cerca de 70%. Pode-se verificar também que os resultados obtidos são bastante similares aos resultados obtidos experimentalmente. Conclui-se que o módulo reactive molding do moldflow apresenta resultados bastantes viáveis sabendo que os materiais utilizados foram pesquisados na literatura.

No ponto dos outros resultados mostra que a força de fecho e as viscosidades são muito baixas, assim como pretendido nos resultados experimentais. Realizou-se também uma simulação relativamente ao tempo de enchimento e verifica-se que com dois pontos de injeção a peça industrial demora cerca de 8 segundos a encher (Figura 48):

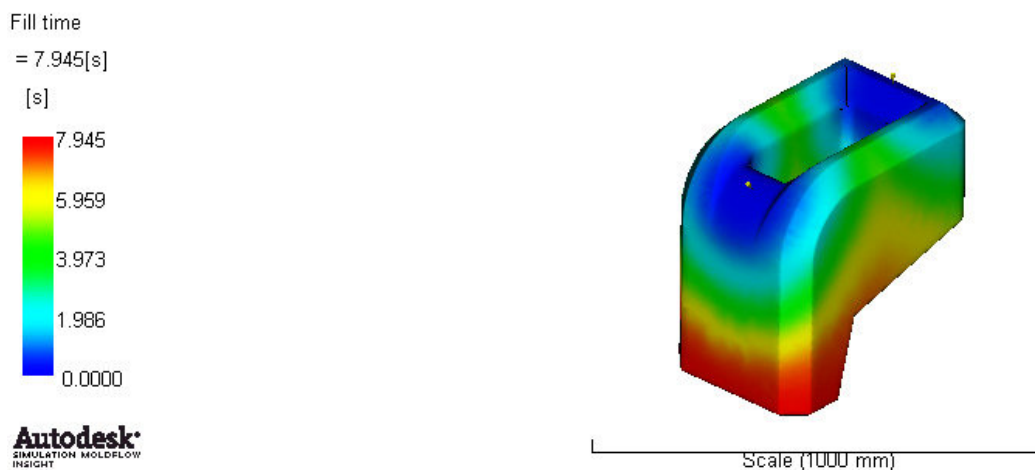


Figura 48-Tempo de enchimento da peça industrial

5.6.6. Simulações das propriedades mecânicas na peça industrial

Relativamente aos resultados obtidos na simulação, é possível verificar nas imagens seguintes a deformação equivalente (Figura 49) e a sua intensidade (Figura 50) e a tensão equivalente (Figura 51) e normal (Figura 52). Observando estes resultados e utilizando uma carga é de 5 kN verificam-se deformações reais de cerca de 0.3%, nas tensões reais são cerca de 3 MPa, utilizando um factor de segurança de 15.

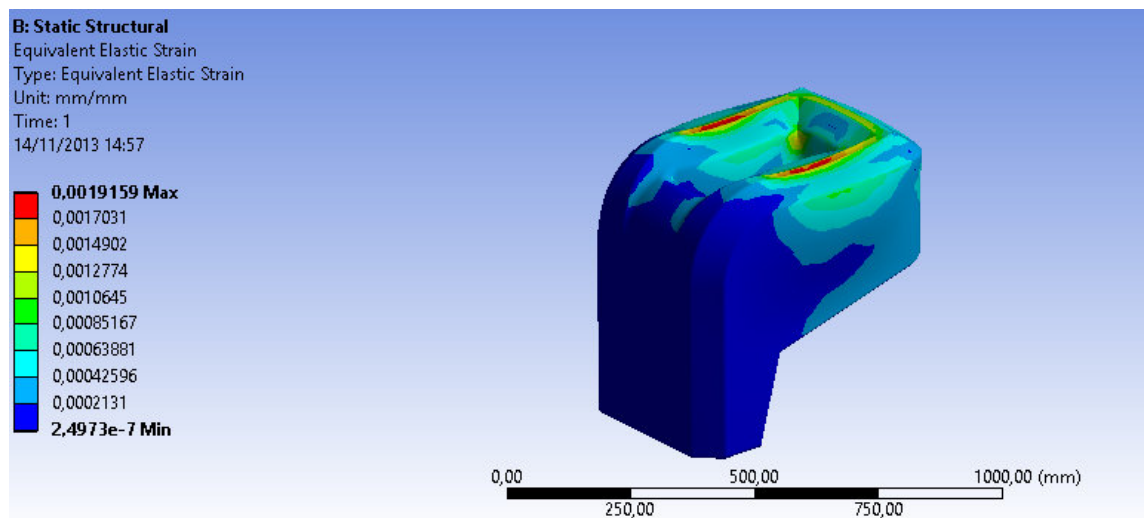


Figura 49- Deformação equivalente

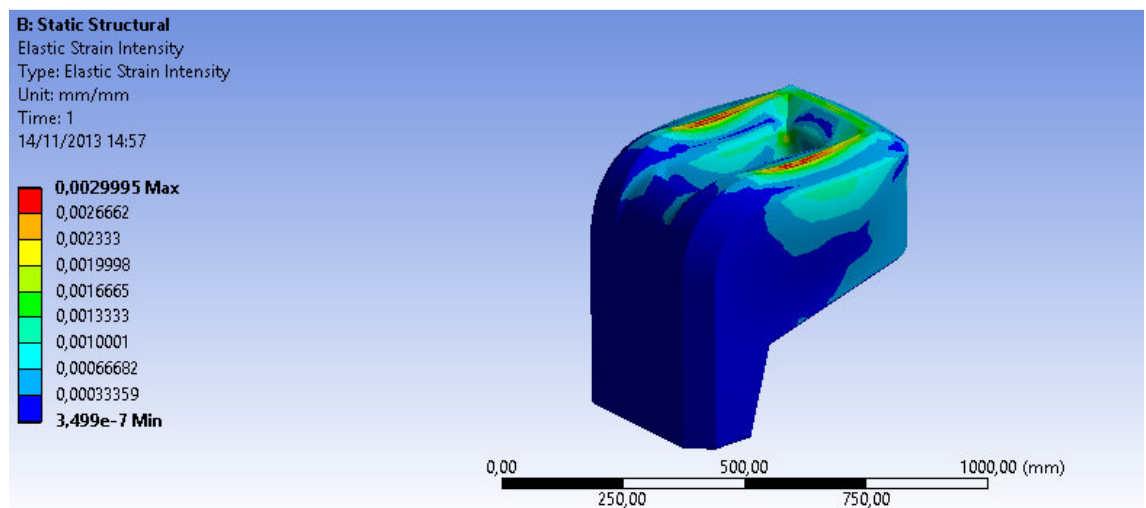


Figura 50- Intensidade da deformação

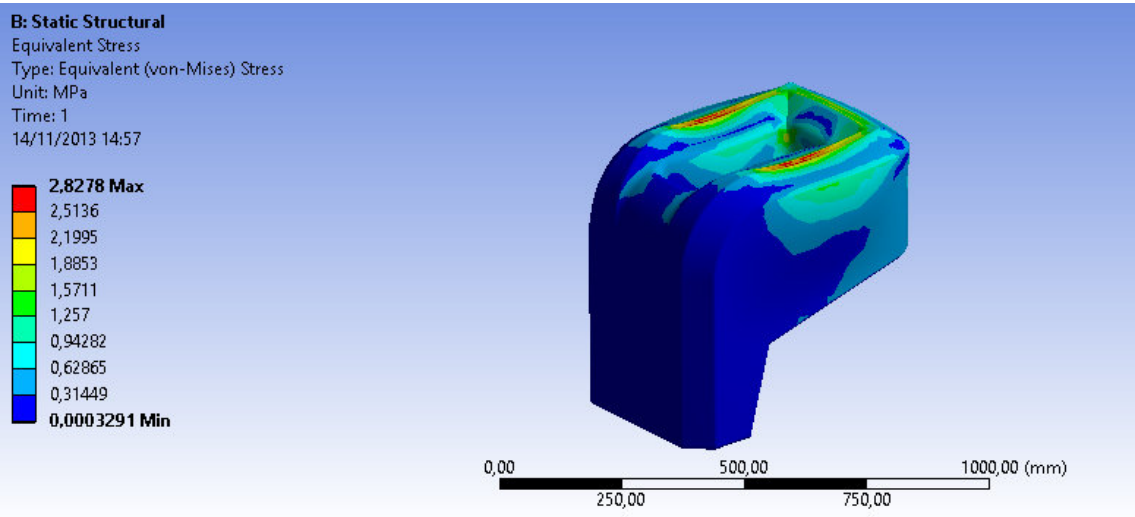


Figura 51- Tensão equivalente

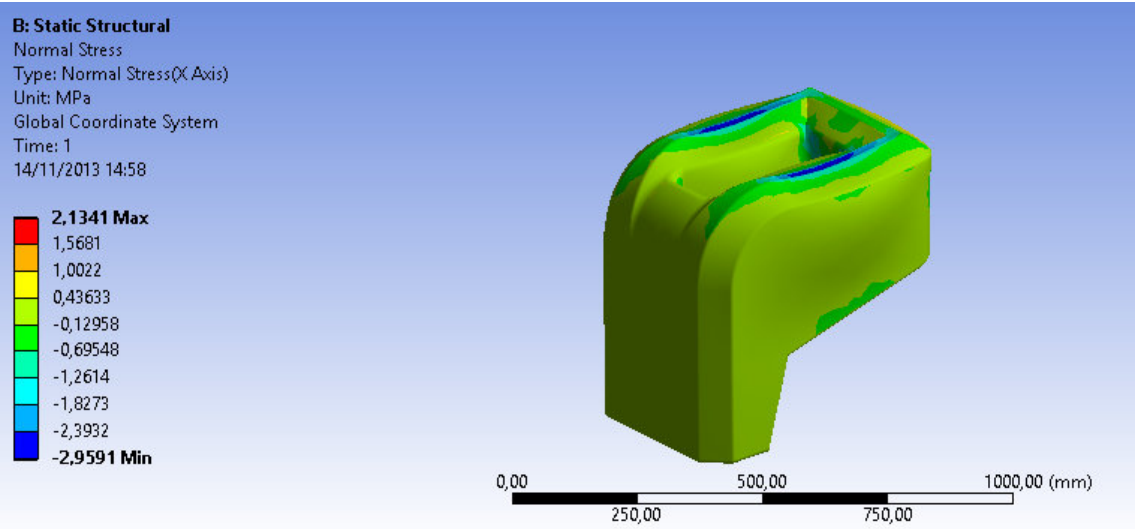


Figura 52- Tensão normal

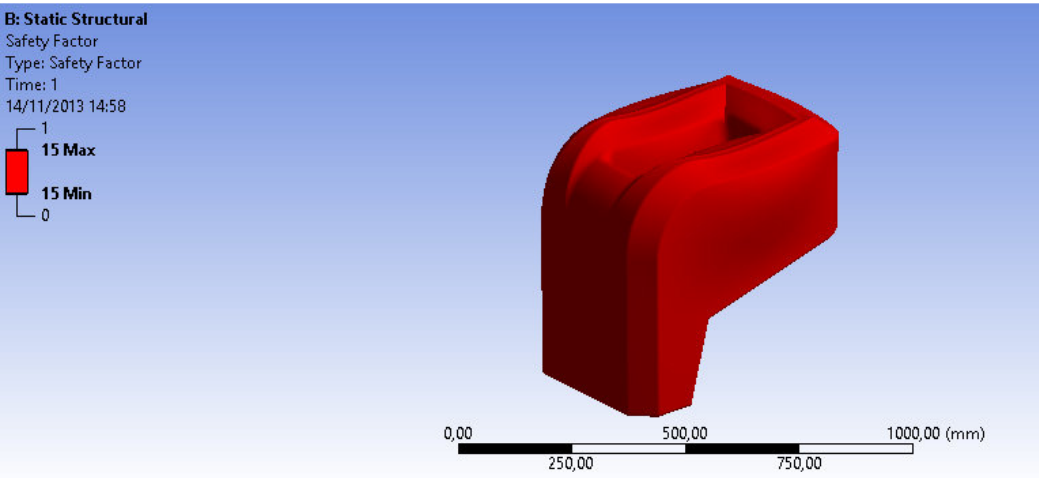


Figura 53- Factor de segurança

5.7. Comparação das propriedades obtidas por RIM Poliuretano e Moldação por injeção.

A Tabela 8 tem por base a identificação de características relacionadas com o produto, tais como as séries de produção, espessura, dimensão, tipo de geometria, qualidade superficial, tipo de moldação e outras características relacionadas com o molde, características mecânicas/físicas e químicas, características geométricas e o custo. A Tabela 8 é a classificação utilizada para a matriz de avaliação.

Tabela 8- Classificação da matriz

Classificação da Matriz	
10	Excelente ou mais comum
5	Razoável ou a considerar
0	Mau ou geralmente não é feito

Tabela 9- Matriz de avaliação relativamente ao Poliuretano

Características	Injeção	RIM
Resistência ao Impacto (KJ/m²)	70	100
Resistência à tração (MPa)	40	38
Módulo de elasticidade (MPa)	1400	1500
Temperaturas de serviço (°C)	-30 a 120	-30 a 120
Resistente aos UV	5	5
Resistente quimicamente	10	10
Força de fecho	10	2
Aquecimento/refrigeração	10	5
Contração (%)	0.5	0.5

Sistema de extração	10	5
Colocação insertos	10	5
Polimento	10	5
Produção protótipo	5	0
Sistema de alimentação	10	10
Manutenção	10	5
Temperatura do Material (°C)	220-240	30°C
Temperatura do Molde (°C)	15-70	30°C
Tempo de ciclo (min)	2	6 a 10
Rugosidade	1	3
Empeno	5	5
Linhas União	8	8
Enchimento	8	8
<50 Unidades	1	6
>50 <200 Unidades	3	8
>200 Unidades	10	8
<3mm	10	10
>3mm	5	10
<500mm	10	10
>500 <1000mm	6	8
>1000mm	3	7
Precisão de dimensões	10	8

Tolerâncias	9	8
 Simples	10	10
 Complexa	7	8
 Boa	10	7
 Média	3	10
Com insertos	10	10
 Bimaterial	10	0
Necessidade de acabamento	3	3
 Sobre tecidos	10	0
 Sobre películas	10	0
 Pintura	10	10
Com cargas	10	10
Custo do material	5	6
Custo da máquina	10	6
Custo do molde	10	5

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES

A realização desta tese contou com alguns desafios, começando logo pela técnica de processamento, que inicialmente seria RIM de Poliuretano. Como existia uma falta de equipamento com capacidade de injectar peças de grandes dimensões, optou-se por não injectar a peça de tamanho industrial, pois o equipamento disponível não tinha capacidade para tal.

O equipamento e os insertos produzidos não tiveram a aplicação desejada, pois estes tinham muitas limitações. O equipamento não permitia mudança de variáveis das percentagens de material, não sendo possível fazer um estudo intenso ao nível das moldações.

Contudo, alcançaram-se conclusões importantíssimas para o projecto:

- a) Colocar um sistema de extracção e melhorar o escape de ar, pois existia uma alguma dificuldade em extrair as peças e por vezes não enchiam completamente, uma vez que o ar não tinha como sair;
- b) No enchimento verifica-se que o material utilizado é bom para peças de grandes dimensões, pois tem o potlife de 8 minutos, adequado para peças grandes. O enchimento completo da peça pode demorar alguns segundos, mas a desamoldação é demorada podendo ser desmoldada após 2 a 8 horas, dependendo do tamanho da peça e necessita de uma cura de 3 dias;
- c) Comparando com os resultados obtidos nos ensaios experimentais mecânicos verificam-se propriedades semelhantes, nas deformações reais é cerca de 2,5% e nas simulações é 2,2% e nas tensões reais é cerca de 37 MPa e na simulação é 34 MPa;
- d) Os insertos utilizados são os de alumínio, sendo os mais recomendados para grandes peças e pequenas séries, pois são mais baratos que os materiais utilizados nos moldes convencionais;
- e) Comparando esta técnica com a moldação convencional verifica-se que esta técnica tem algumas vantagens, tal como o custo. A injeção para peças grandes tem um custo muito elevado em molde e equipamento e utiliza uma força de fecho muito elevada.

CAPÍTULO 7: TRABALHO A REALIZAR NO FUTURO

Através das conclusões obtidas e do trabalho realizado sugere-se como trabalho futuro as seguintes tarefas:

- a) Realização dos ensaios experimentais necessários para a obtenção das variáveis dos materiais para comparação as simulação no moldflow de rim de Poliuretano e sua comparação com o processo.
- b) Obter peça com carga e fazer respectivos ensaios mecânicos, para comparar as propriedades com a técnica de injeção convencional.
- c) Realização de ensaios de peças de grandes dimensões e estudo das suas propriedades.
- d) Realização e comparação desta técnica com rim de nylon.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Macosko, C.W. (1989) - **RIM-Fundamentals of Reaction Injection Molding**. New York: Hanser Publishers, 1989. 257 p. ISBN 3-446-15196-6.
- [2] Silva, M. - **Moldes protótipos para produção de peças em RIM**. Guimarães: Universidade do Minho, 2008. 224 p. Tese de Mestrado.
- [3] <http://www.exothermic.com/technology.htm>
- [4] Dominick V. Rosato, Donald V. Rosato, Matthew V. Rosato (setembro,2004) - **Plastic Product Material and Process Selection Handbook**. Elsevier Science & Technology Books, 2004. 407 p. ISBN: 185617431X
- [5] <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/poliuretanos/poliuretanos.php>
- [6] Herman F. Mark (2005)- **Encyclopedia of Polymer Science and Technology, 3rd Edition**. John Wily & Sons, 2005. Volume 4 ISBN: 978-0-471-27507-7
- [7] Herman F. Mark (2005)- **Encyclopedia of Polymer Science and Technology, 3rd Edition**. John Wily & Sons, 2005. Volume 3 ISBN: 978-0-471-27507-7
- [8] Prisacariu C. - **Thermal Behaviour of Selected Polyurethane Elastomers with Diol Chain Extension**. The Romanian Academy's Institute of Macromolecular Chemistry Petru Poni. Romania.
- [9] STANFORD, J.L., R.H. STILL, and A.N. WILKINSON - **Effects of soft-segment prepolymer functionality on structure property relations in RIM copolyurethanes**. *Polymer*, 2003.44(14):p.3985-3994.
- [10] The Role of NSF's Support of Engineering in Enabling Technological Innovation. <http://www.sri.com/policy/csted/reports/sandt/techin/rim1.html>.
- [11] <http://www.huntsman.com/polyurethanes/a/Products/Thermoplastic%20polyurethanes/Welcome%20to%20the%20world%20of%20TPU!>
- [12] <http://polyurethane.americanchemistry.com/Introduction-to-Polyurethanes/History>
- [13] Brian LEES- **Materials Information Service**. Edited d by Stephen Harmer.
- [14] Krol, P.- Synthesis methods, chemical structures and phase structures of linear polyurethanes. Properties and applications of linear polyurethanes in polymer elastomers, copolymers and inomers, (2006)
- [15] [Www.Hyperlast.com](http://www.hyperlast.com)
- [16] Cunha, A.M.;Soares, V.;Pontes, A.J. - **Manual do Projectista para moldes de injeção de plásticos: Moldação por Injecção e Materiais Plásticos**. Marinha Grande: Centimfe, 2004. 79 p. ISBN 9729887217.
- [17] PHIL M. - **Investigations on the Adhesion of Polyurethane Foams on Thermoplastic Material Systems**. Merseburg, 2005. PhD Thesis

- [18] Kohan, M.I. - **Nylon plastics handbook**. New York
- [19] <http://www.europur.com/index.php?page=what-is-polyurethane-foam>
- [20] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Poliuretano>
- [21] <http://www.specialchem4polymers.com/sf/bruggemann/index.aspx?id=nyrim>
- [22] http://wwwa.graco.com/Internet/T_PDB.nsf/SearchView/Gusmer-Decker
- [23] <http://www.prirev.com/functec.htm>

ANEXOS

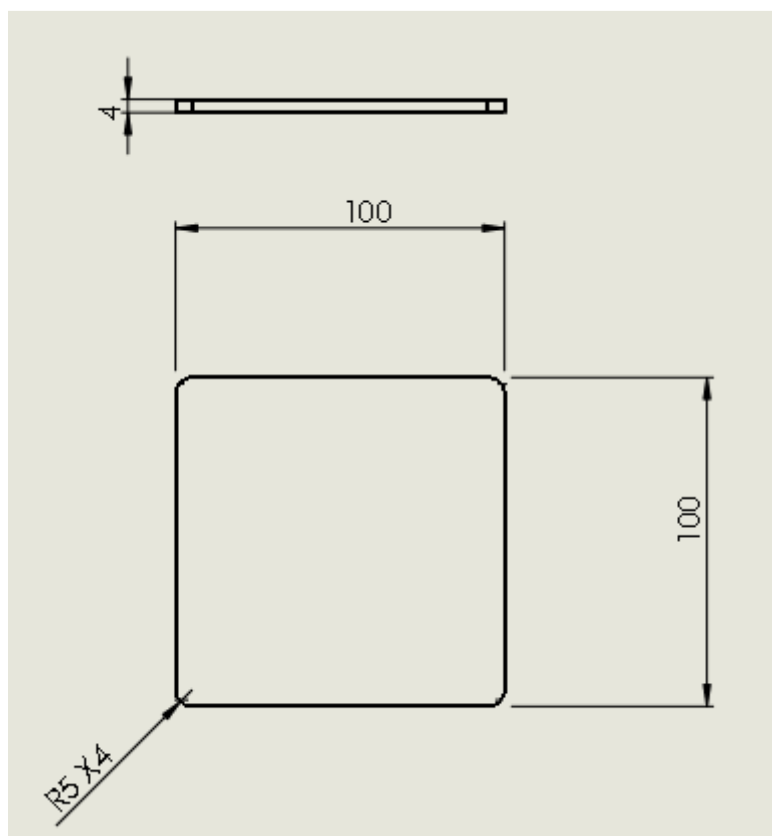
ANEXO 1 – DIMENSÕES DA PEÇA

Figura 54-Peça com 2 ribs

ANEXO 2 – FICHAS TÉCNICAS DO MATERIAL DAS MOLDAÇÕES

BIRESIN® RG54 NEU

Tooling & Composites

Product Data Sheet
Version 07 / 2010

Biresin® RG54 Neu

Low pressure RIM-system

Areas of Application

- Manufacture of big housings
- Manufacture of impact resistant technical parts

Product Benefits

- Good flowability
- Very long potlife for big casting volumes
- Good abrasion resistance

Description

- Basis Two-component-PUR-system
- Resin Biresin® RG54 Neu, polyol, beige, unfilled
- Hardener Biresin® U6, MDI-based isocyanate, brown, unfilled

Processing Data		Resin	Hardener
Individual components		Biresin® RG54 Neu	Biresin® U6
Viscosity, 25°C	mPas	~ 1.600	~ 110
Density	g/cm³	1,05	1,23
Mixing ratio resin to hardener	in parts by weight	100	70
		Mixture	
Potlife, RT	min	~ 8	
Demoulding time, RT	h	2 - 8 (dependent on moulding thickness)	
Curing time, RT	d	~ 3	


Physical Data (approx. values)

Biresin® RG54 Neu resin			Biresin® U6
	ISO	with hardener	
Density	1183	g/cm³	1,2
Shore hardness	868	-	D 80
E-Modulus	178	MPa	1,500
Flexural strength	178	MPa	60
Tensile strength	527	MPa	38
Elongation at break	527	%	26
Impact resistance	178/1eB	kJ/m²	100
Heat distortion temperature	75B	°C	50 / 65*

* value after post curing: 4h / 100°C

Packaging

Individual components	Biresin® RG54 Neu resin	25 kg net
	Biresin® U6 hardener	250 kg; 17 kg; 4.25 kg net



Biresin® RG54 Neu 1 / 2

Processing

- The resin component must be stirred thoroughly before use.
- The material and processing temperature must be 18 - 25°C, mould temperature at least 20°C.
- For processing a two-component dosage mixing machine is necessary which conforms to reactivity of resin and volume of casting parts. A static-dynamic mixing unit is recommended.
- Machine vessel for resin component (part A - polyol) must have a mixing unit.
- Machine vessel for hardener component (Part B - Isocyanate) must be moisture tight, e. g. by installation of a silicagel filter.
- Prior to casting, ensure moulds are thoroughly released. If the application of silicone free release agents is necessary, Sika® Trennmittel 810 and 815 Quick or Sika® Trennwachs 818 (for more information see Product Data Sheet) are recommended.

Storage

- Minimum shelf life is 12 month under room conditions (18 - 25°C), when stored in original un-opened containers.
- After prolonged storage at low temperature, crystallisation of components may occur. This is easily removed by warming up for a sufficient time to a maximum of 70°C. Allow to cool to room temperature before use.
- Containers must be closed tightly immediately after use to prevent moisture ingress. The residual material needs to be used up as soon as possible.

Health and Safety Information

For information and advice regarding transportation, handling, storage and disposal of chemical products, users should refer to the actual Material Safety Data Sheets containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.

Disposal considerations

Product Recommendations: Must be disposed of in a special waste disposal unit in accordance with the corresponding regulations.

Packaging Recommendations: Completely emptied packagings can be given for recycling. Packaging that cannot be cleaned should be disposed of as product waste.

Value Bases

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

Legal Notice

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.



Further information available at:

Sika Deutschland GmbH
Subsidiary Bad Urach
Stuttgarter Str. 139
D - 72574 Bad Urach
Germany

Tel: +49 (0) 7125 940 492
Fax: +49 (0) 7125 940 401
Email: tooling@de.sika.com
Internet: www.sika.com



Sika® R054 New 2/2

ANEXO 3 – DADOS DOS MATERIAS UTILIZADOS NO MOLDFLOW

Reactive Viscosity Model Coefficients

Reactive viscosity model

n	1	(0:1)
Tau*	0.0001913	Pa (0:)
B	0.2612	Pa-s (0:)
Tb	841.95	K (0:1e+007)
c1	0	[0:1000]
c2	0	[-100:1000]

Plot Viscosity

Edit test information...

Gelation conversion 0.5 [0:1]

OK Cancel Help

Figura 55- Propriedades reológicas do Poliuretano

Reaction Kinetics Properties

N-th order kinetics

H	350000	J/kg [0:1e+007]
B1	0	s [0:)
B2	0	K [0:)
m	0.36	[0:100]
n	1.64	[0:100]
A1	0	1/s [0:)
A2	0.06	1/s [0:)
E1	0	K [0:1e+008]
E2	841.95	K [0:1e+008]

Figura 56-Propriedades da reação cinética do poliuretano

Description	Recommended Processing
Melt temperature	<input type="text" value="30"/> C
Melt temperature range (recommended)	
Minimum	<input type="text" value="25"/> C (0:1000)
Maximum	<input type="text" value="120"/> C (0:1000)
Mold surface temperature	<input type="text" value="30"/> C
Mold temperature range (recommended)	
Minimum	<input type="text" value="25"/> C (-120:500)
Maximum	<input type="text" value="120"/> C (-120:500)
Ejection conversion	<input type="text" value="0.75"/> [0:1]

Figura 57-Propriedades de recomendadas do processamento de poliuretano

Description	Recommended Processing	Rheological Properties	Thermal Properties
Melt density	<input type="text" value="1.145"/> g/cm ³ (0:10)		
Solid density	<input type="text" value="1.301"/> g/cm ³ (0:10)		
Specific heat data			
	Temperature (T) C (-30:726.85)	Specific heat (Cp) J/kg-C (0:40000)	Heating/cooling rate C/s [-100:100]
1	40	1404.5	0.1667
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
Plot specific heat data...			
Edit specific heat test information...			
Thermal conductivity data			
	Temperature (T) C (-30:726.85)	Thermal conductivity (k) W/m-C (0:10)	Heating/cooling rate C/s [-100:100]
1	30	0.27	0
2			
3			
4			
5			

Figura 58- Propriedades térmicas do poliuretano














	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	 Density	1200	kg m ⁻³ 
3	 Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's M... 	
5	Young's Modulus	1500	MPa 
6	Poisson's Ratio	0,4	
7	Bulk Modulus	2,5E+09	Pa
8	Shear Modulus	5,3571E+08	Pa
9	 Tensile Yield Strength	38	MPa 
10	 Compressive Yield Strength	0	Pa 
11	 Tensile Ultimate Strength	0	MPa 
12	 Compressive Ultimate Strength	0	Pa 

Figura 59- Densidade e propriedades mecânicas do poliuretano utilizada no ansys

ANEXO 4 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DO MOLDFLOW PEÇA LABORATORIAL

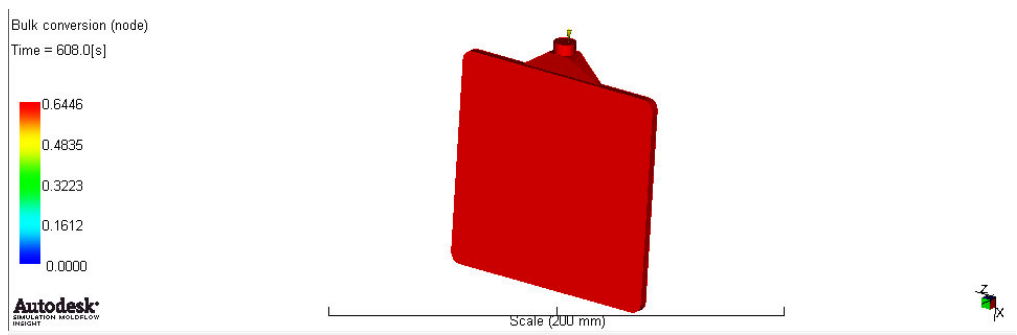


Figura 60- Simulação 1 onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos

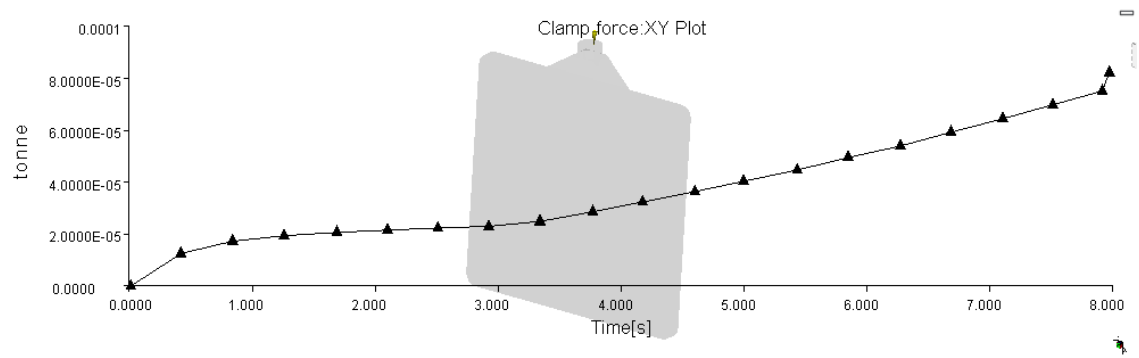


Figura 61- Força de fecho na simulação 1

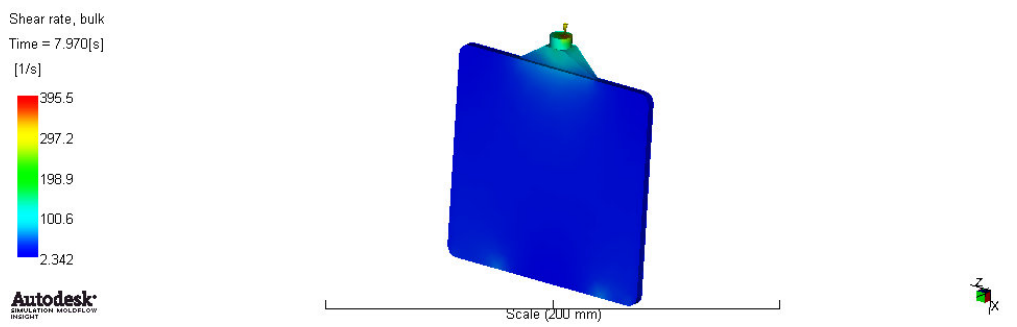


Figura 62- Viscosidades na simulação 1

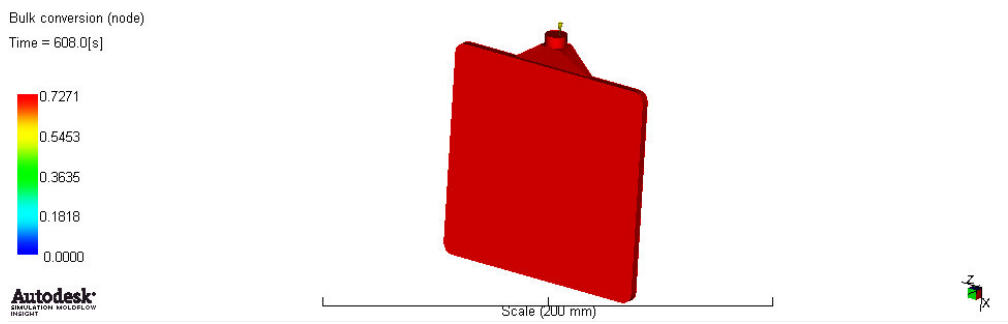


Figura 63- Simulação 2 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos

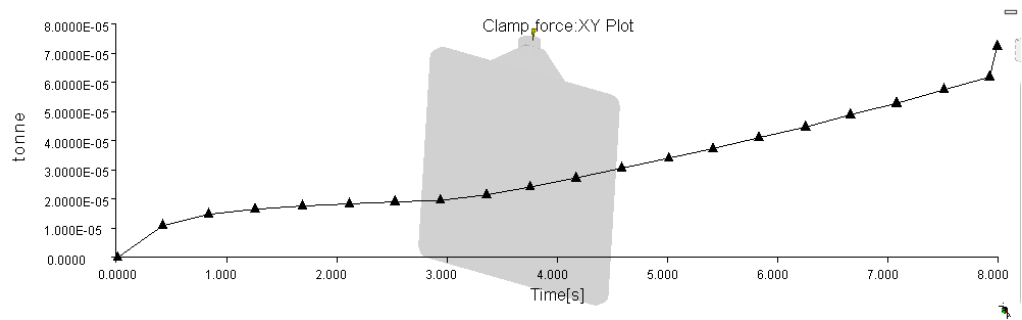


Figura 64- Força de fecho na simulação 2

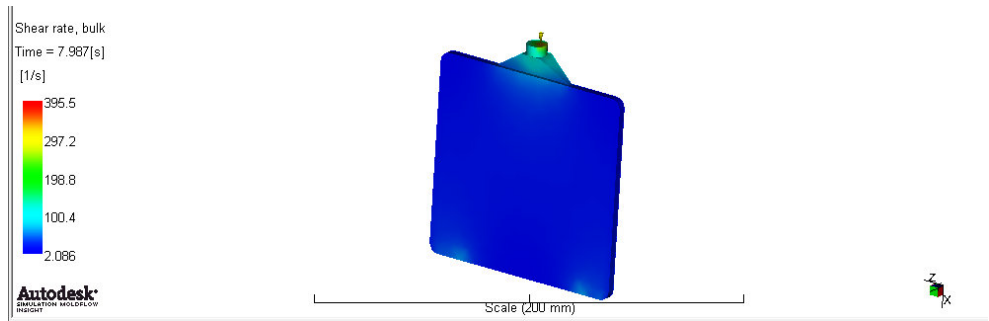


Figura 65- Viscosidades na simulação 2

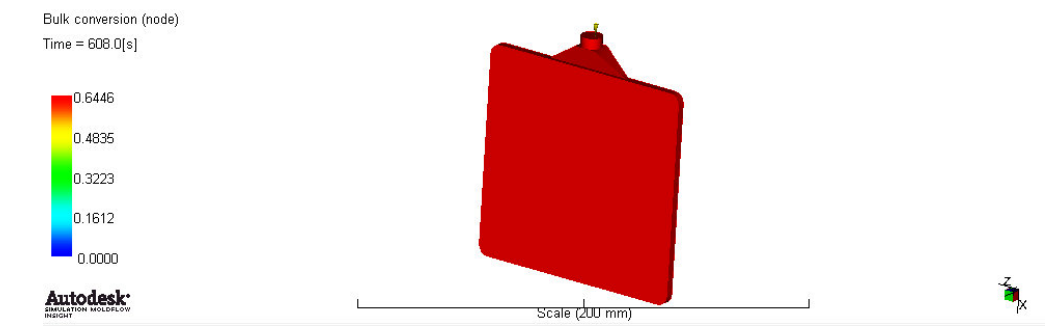


Figura 66- Simulação 3 onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos

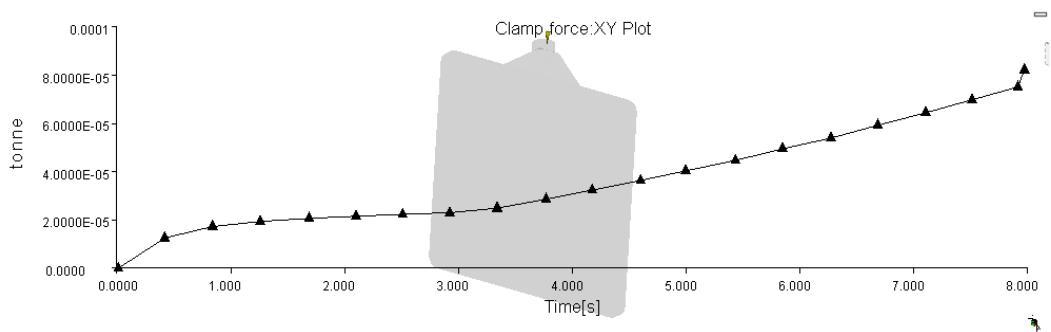


Figura 67- Força de fecho na simulação 3

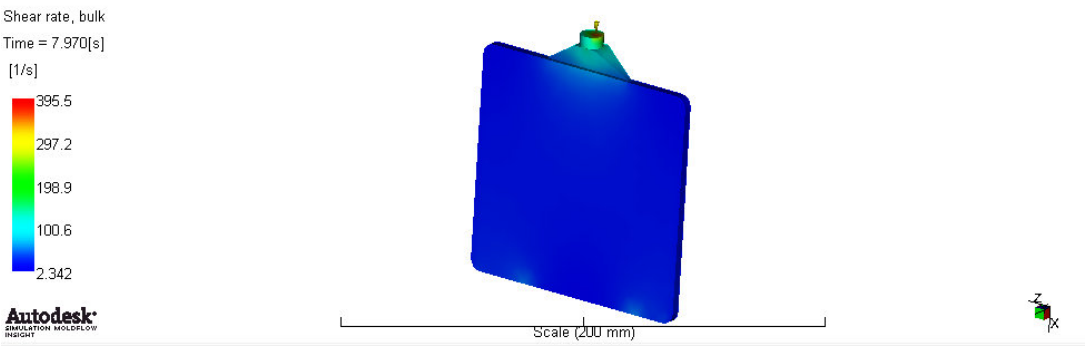


Figura 68- Viscosidades na simulação 3

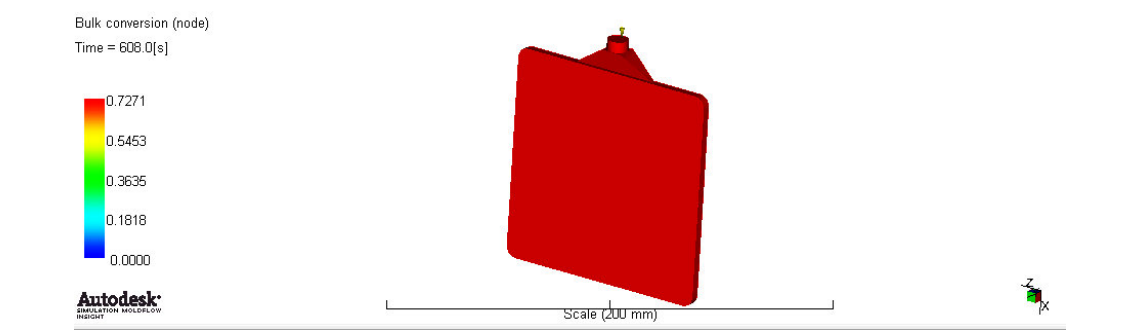


Figura 69- Simulação 4 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos

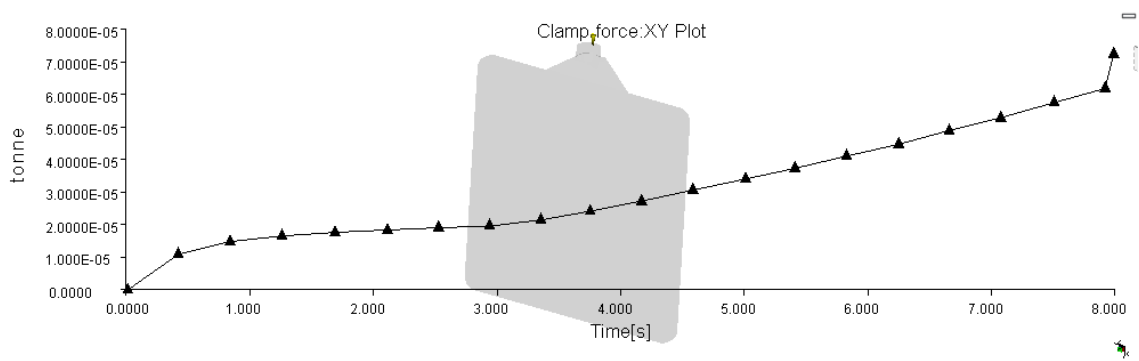


Figura 70- Força de fecho na simulação 4

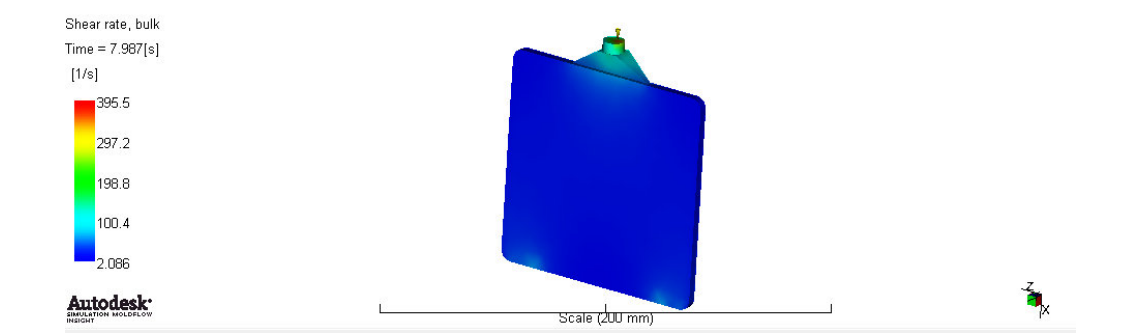


Figura 71- Viscosidades na simulação 4

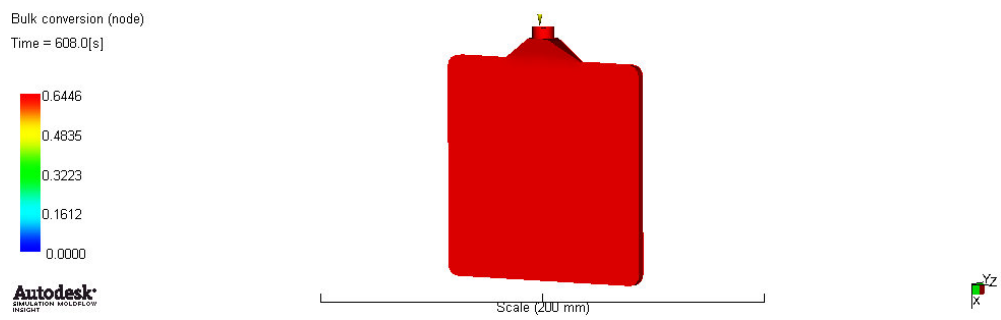


Figura 72- Simulação 5 onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos

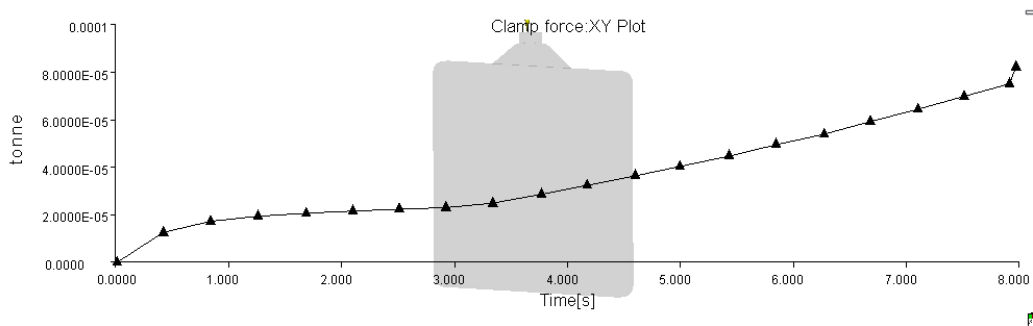


Figura 73- Força de fecho na simulação 5

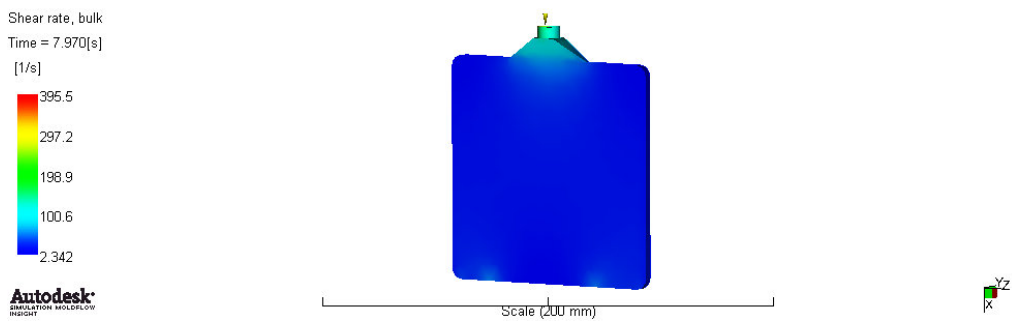


Figura 74- Viscosidades na simulação 5

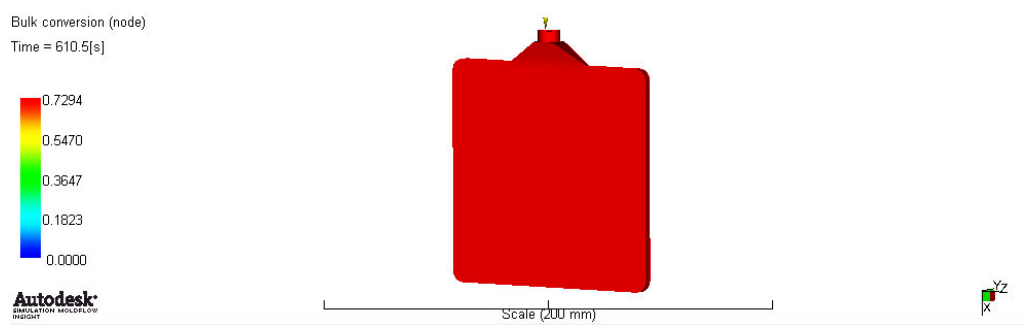


Figura 75- Simulação 6 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos

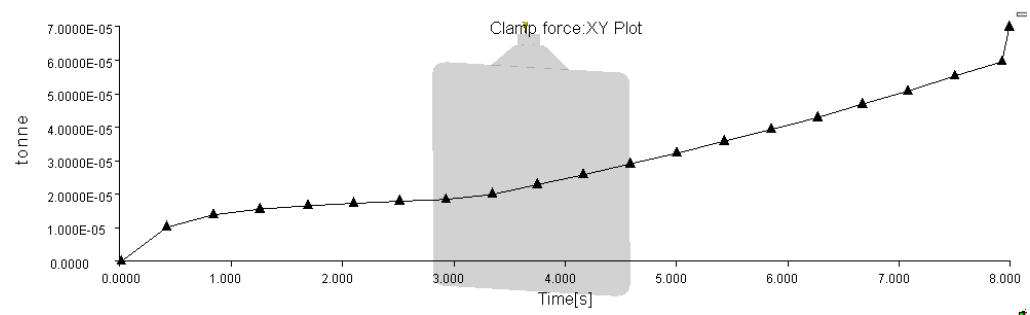


Figura 76- Força de fecho na simulação 6

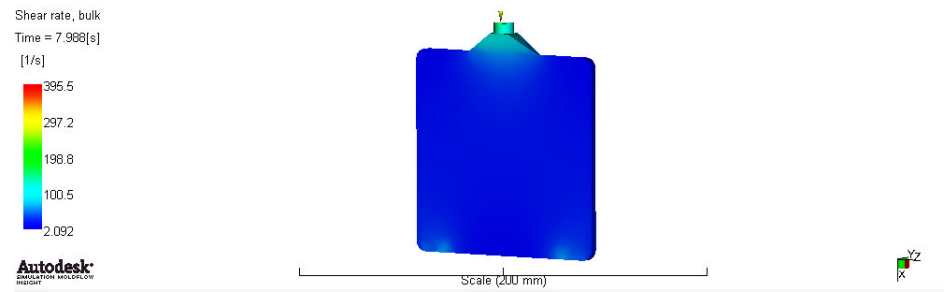


Figura 77- Viscosidades na simulação 6

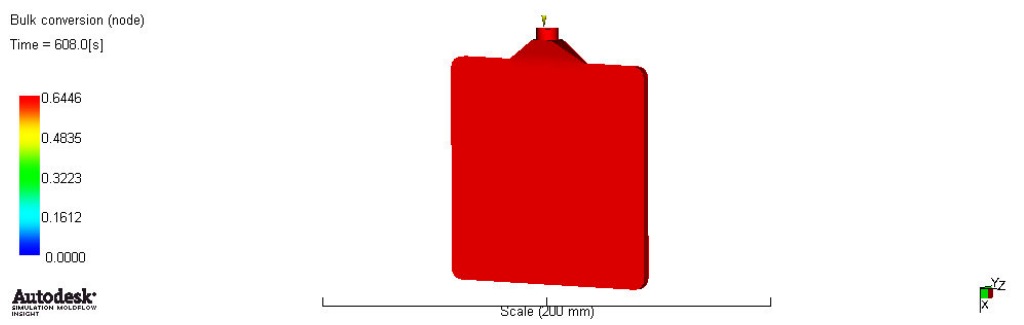


Figura 78- Simulação 7 onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos

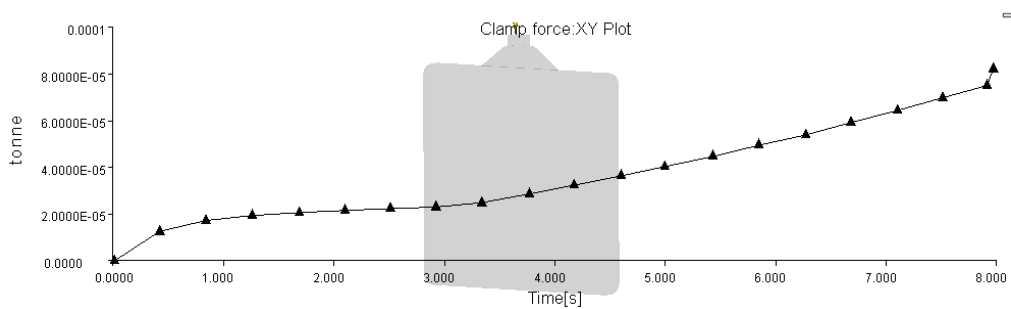


Figura 79- Força de fecho na simulação 7

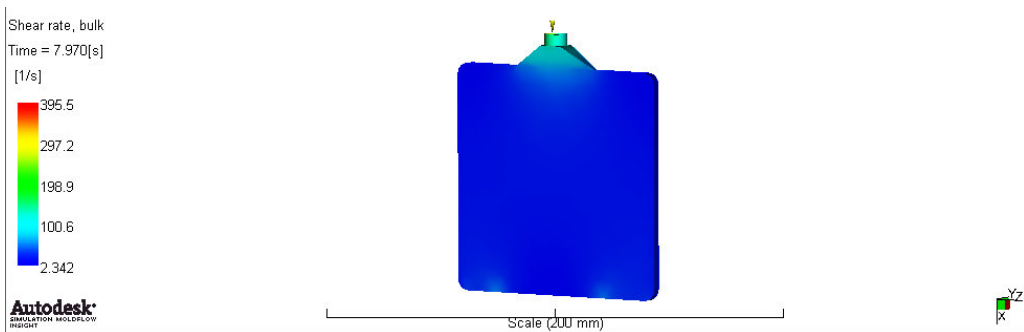


Figura 80- Viscosidades na simulação 7

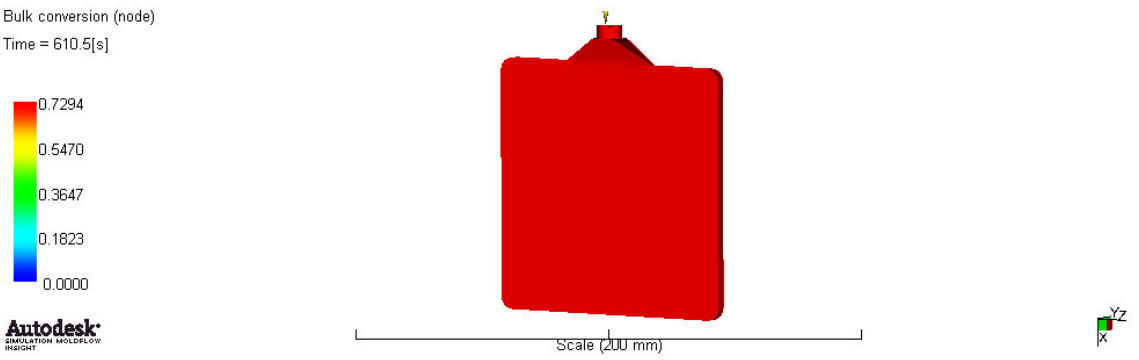


Figura 81- Simulação 8 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos

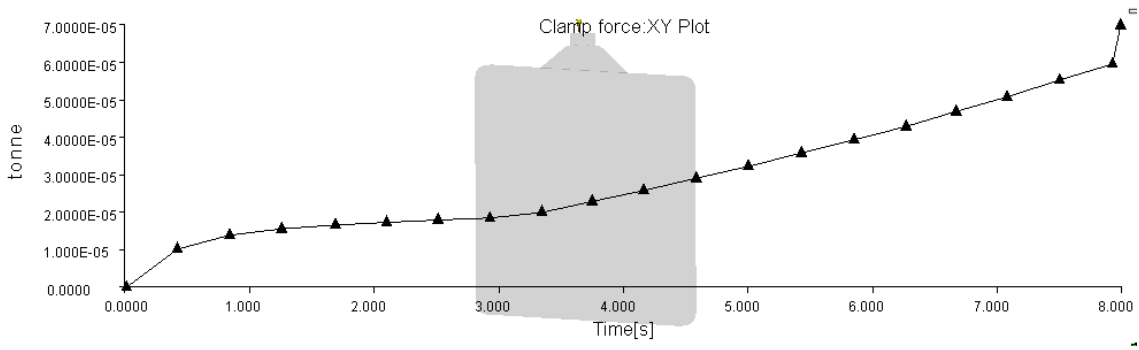


Figura 82- Força de fecho na simulação 8

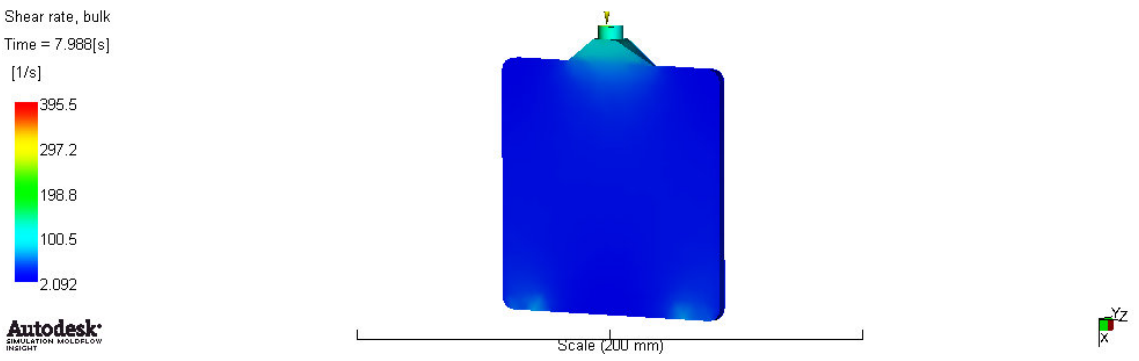


Figura 83- Viscosidades na simulação 8

ANEXO 5 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DO MOLDFLOW PEÇA INDUSTRIAL

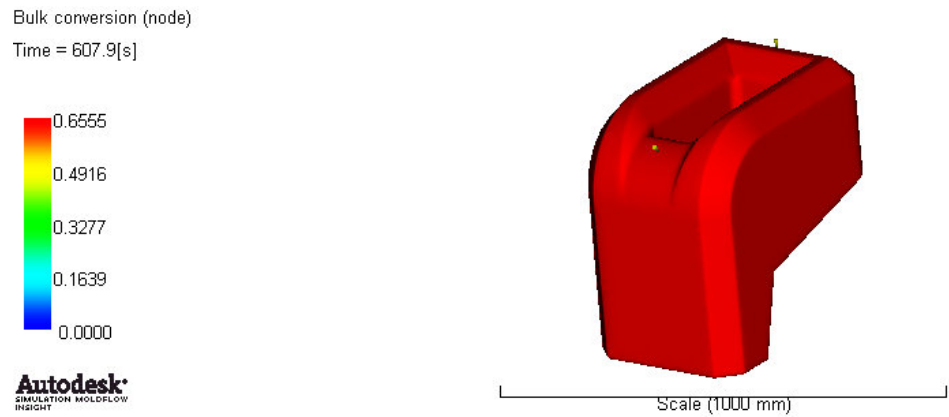


Figura 84- Simulação 1 onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos

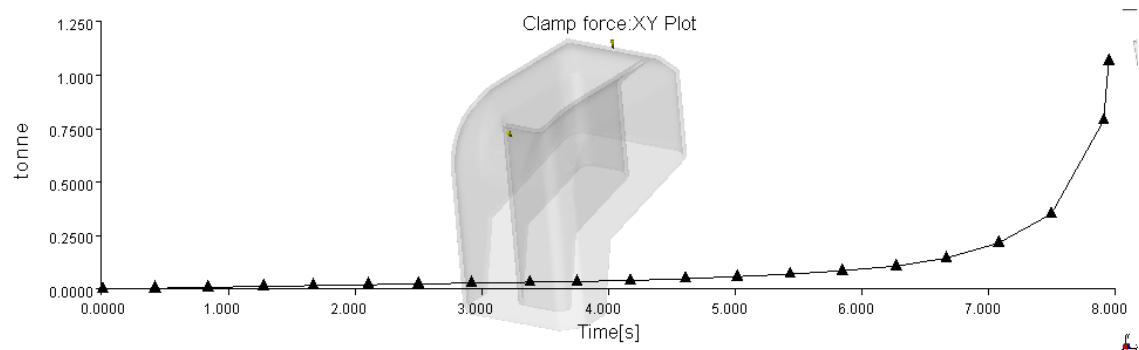


Figura 85- Força de fecho na simulação 1

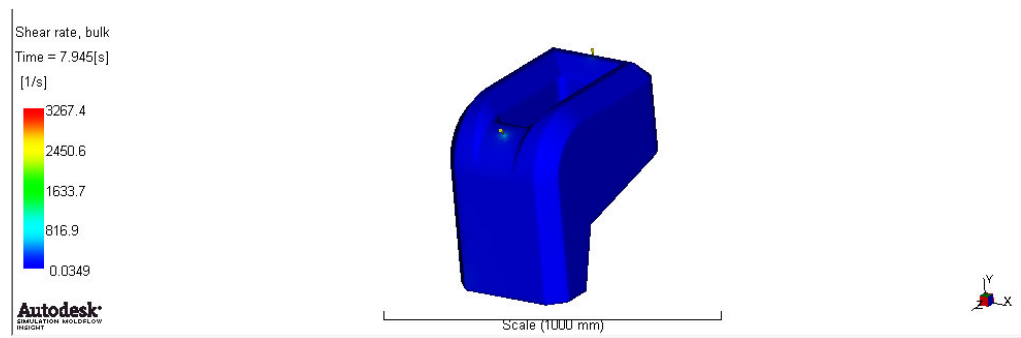


Figura 86- Viscosidades na simulação 1

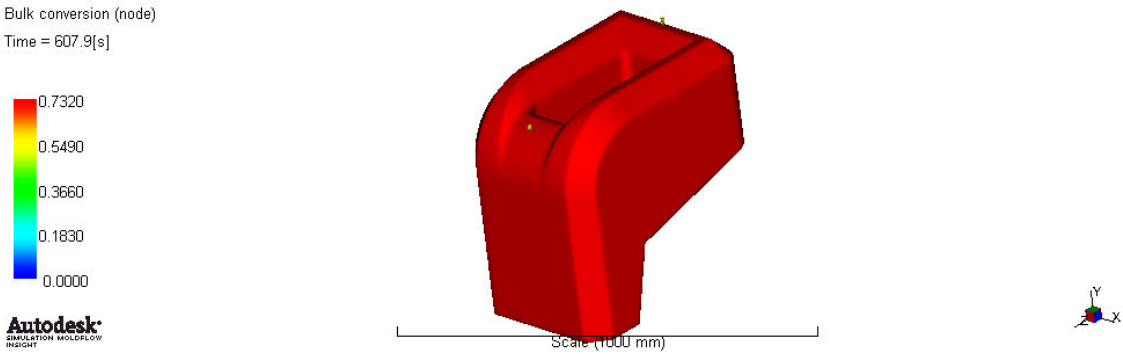


Figura 87- Simulação 2 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos

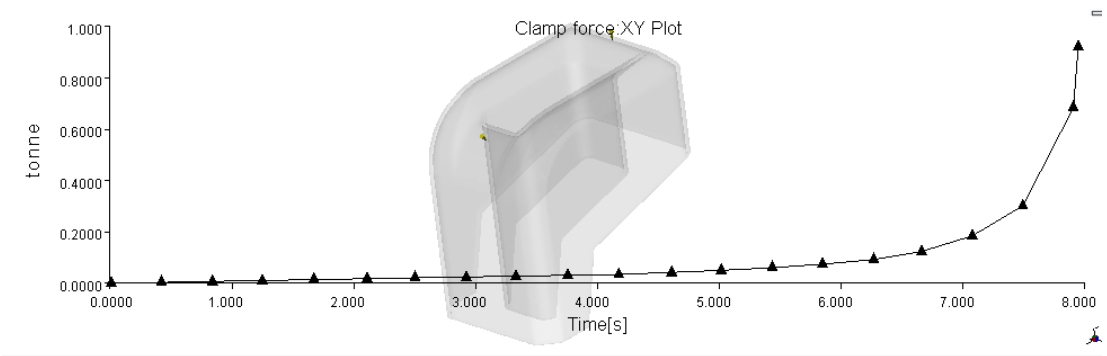


Figura 88- Força de fecho na simulação 2

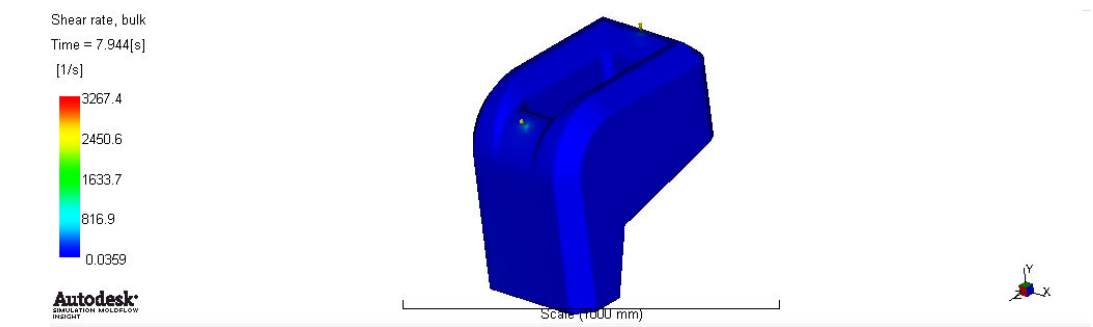


Figura 89- Viscosidades na simulação 2

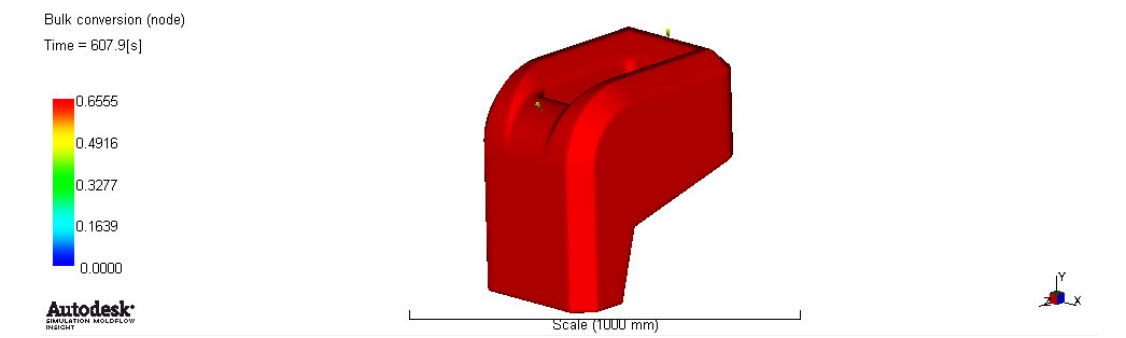


Figura 90- Simulação 3 onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos

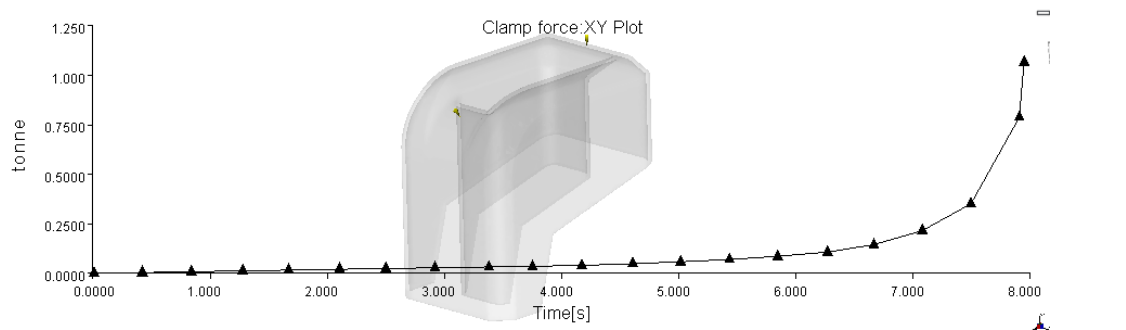


Figura 91- Força de fecho na simulação 3

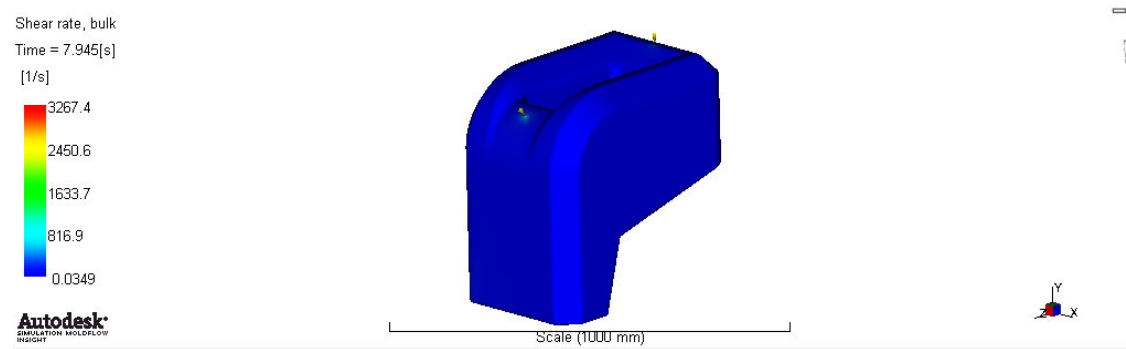


Figura 92- Viscosidades na simulação 3

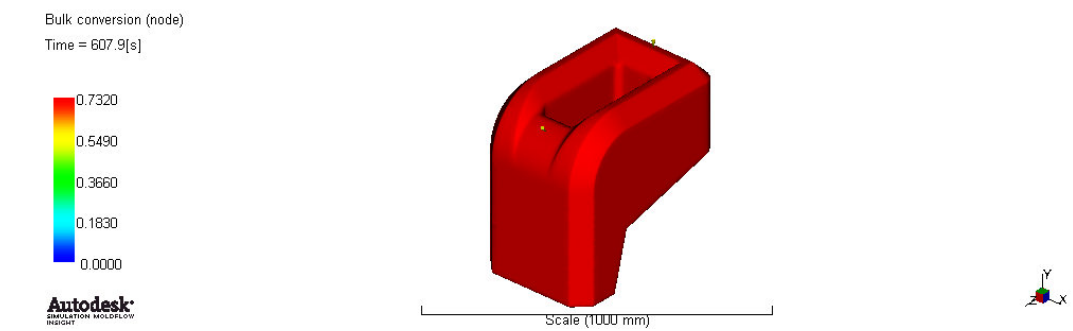


Figura 93- Simulação 4 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos

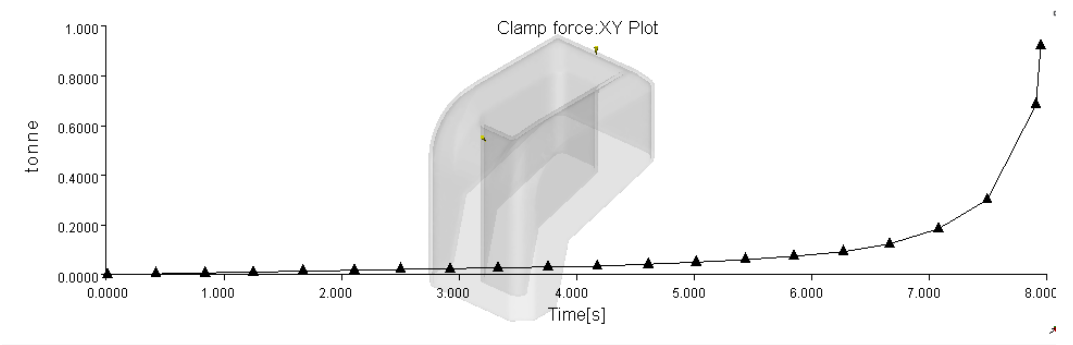


Figura 94- Força de fecho na simulação 4

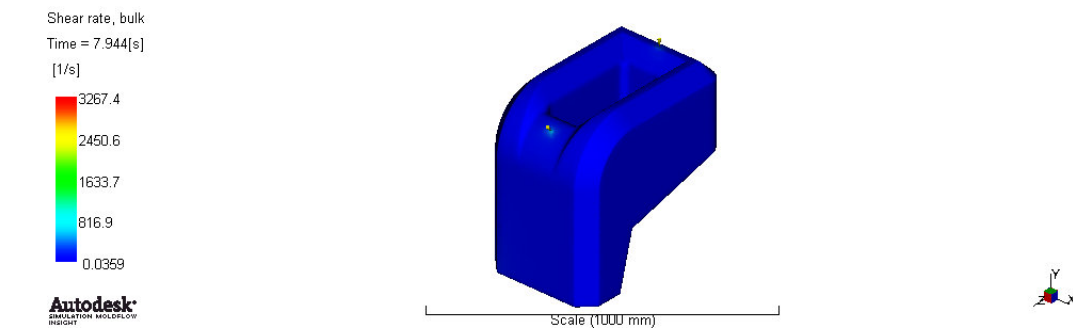


Figura 95- Viscosidades na simulação 4

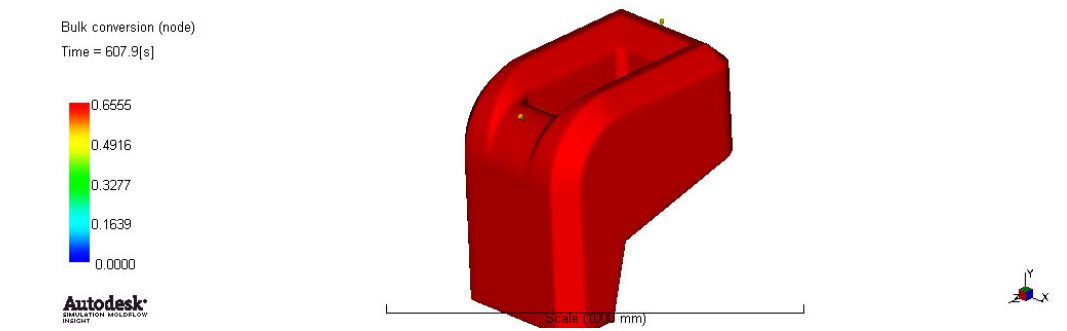


Figura 96- Simulação4 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos

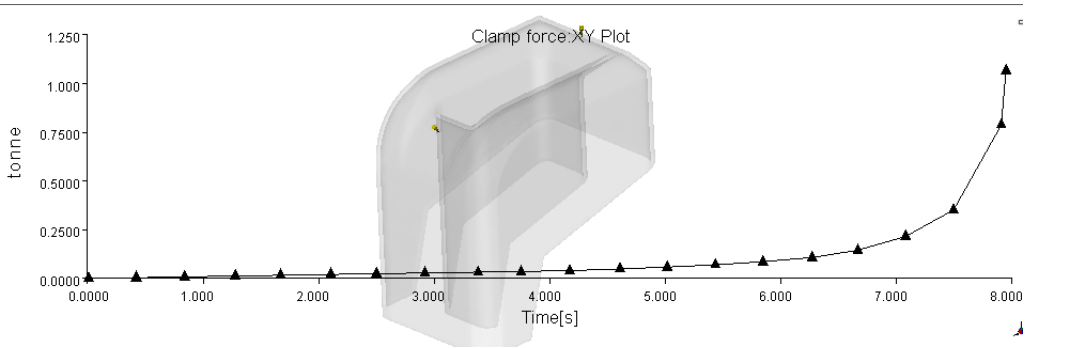


Figura 97- Força de fecho na simulação 4

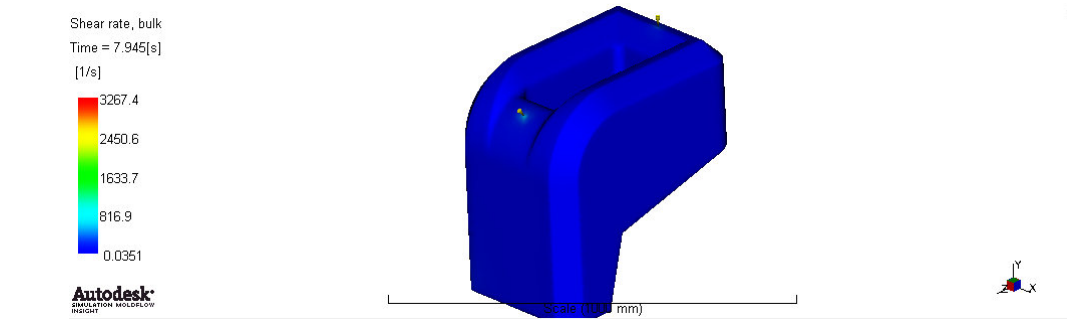


Figura 98- Viscosidades na simulação 4

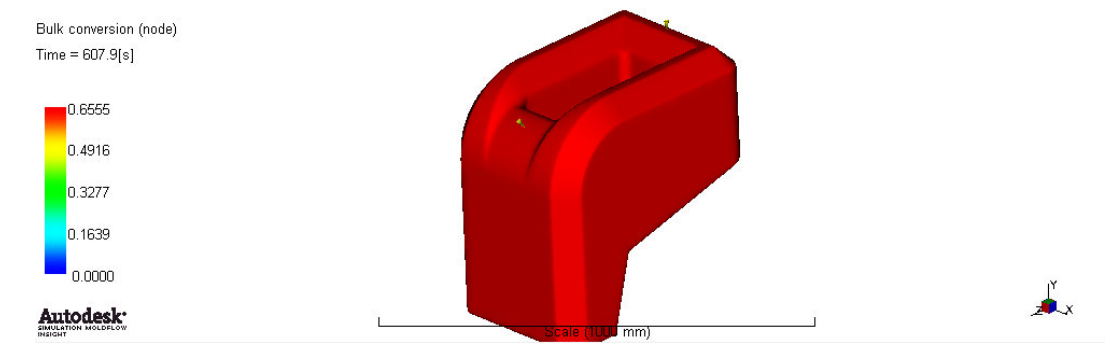


Figura 99- Simulação 5 onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos

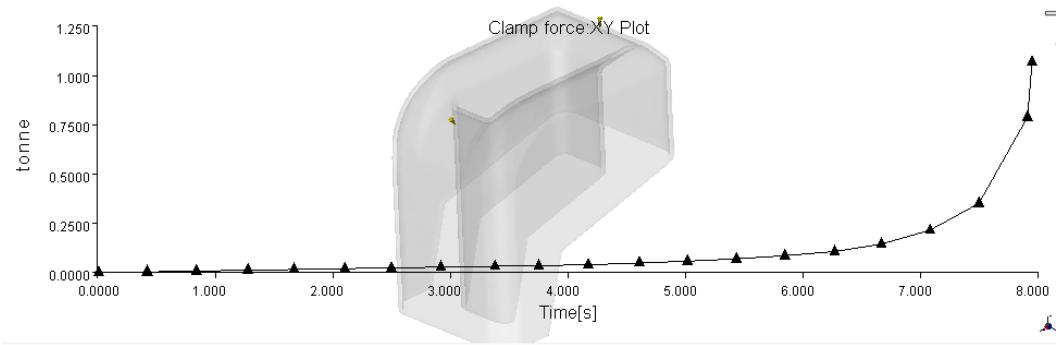


Figura 100- Força de fecho na simulação 5

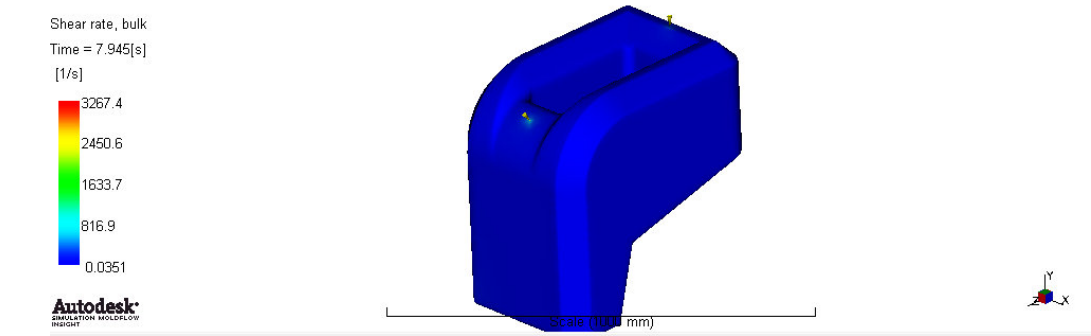


Figura 101- Viscosidades na simulação 5

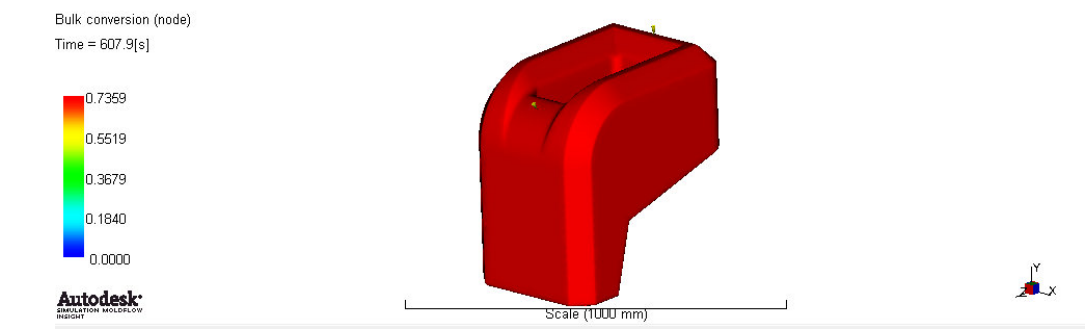


Figura 102- Simulação 6 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos

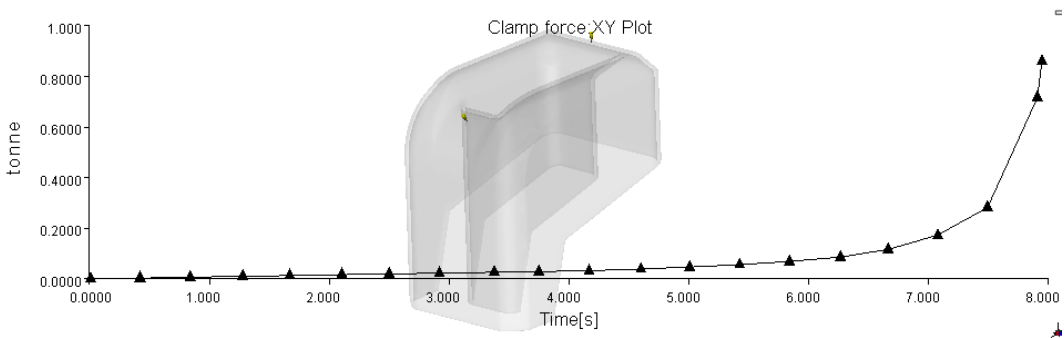


Figura 103- Força de fecho na simulação 6

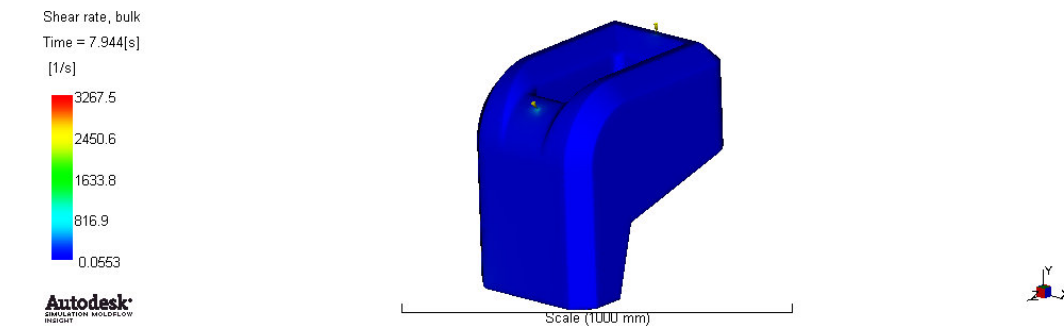


Figura 104- Viscosidades na simulação 6

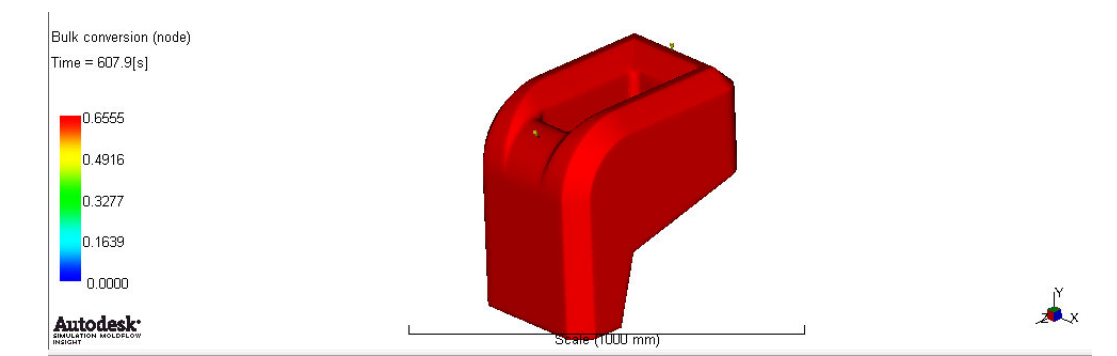


Figura 105- Simulação 7 onde a temperatura do molde é 30°C com no tempo de cura de 600 segundos

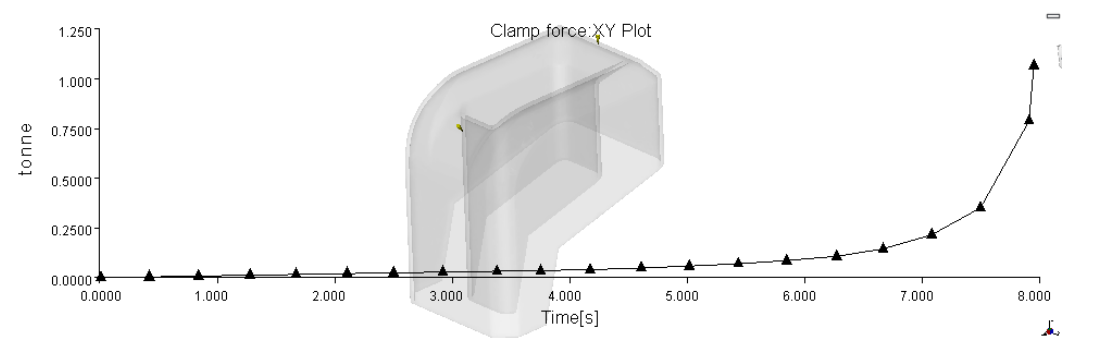


Figura 106- Força de fecho na simulação 7

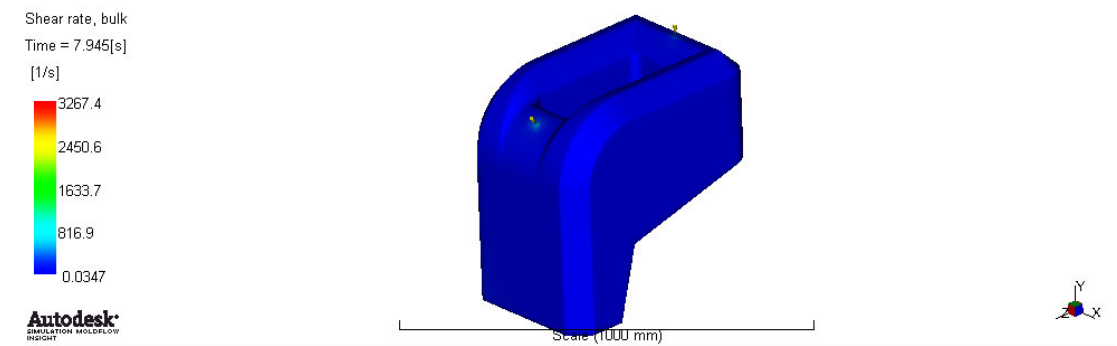


Figura 107- Viscosidades na simulação 7

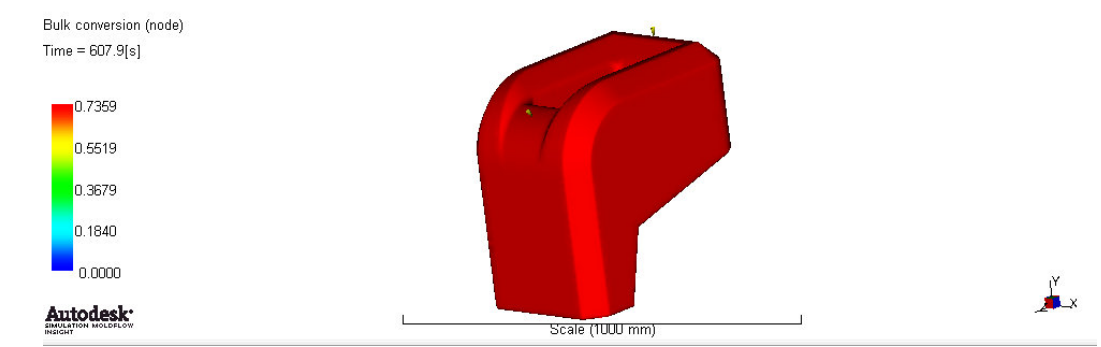


Figura 108- Simulação 8 onde a temperatura do molde é 60°C com no tempo de cura de 600 segundos

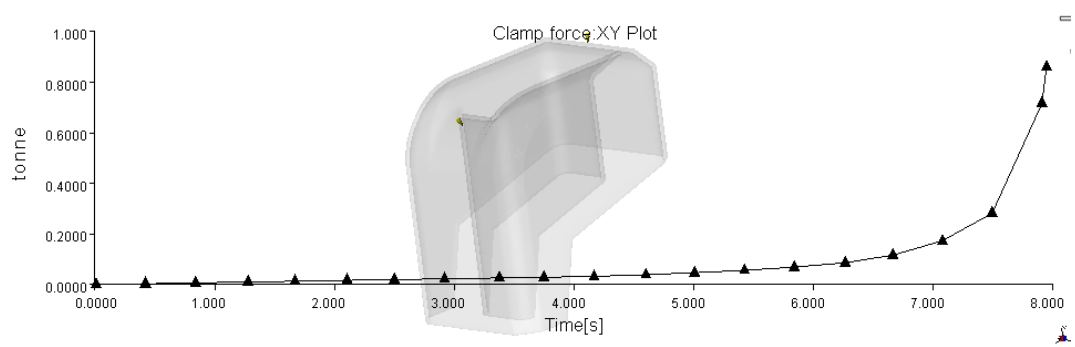


Figura 109- Força de fecho na simulação 8

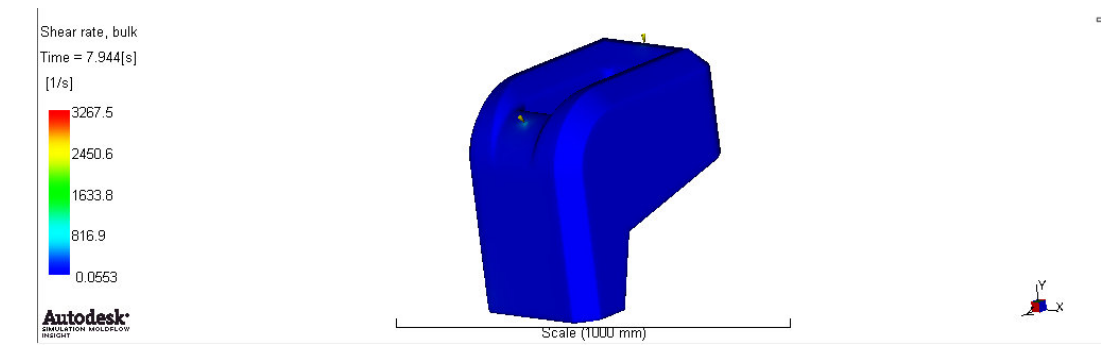


Figura 110- Viscosidades na simulação 8